

Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение
высшего образования
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Институт нефти и газа
Кафедра Технологические машины и оборудования нефтегазового комплекса

УТВЕРЖДАЮ
Заведующий кафедрой
_____ Э.А. Петровский
« ____ » _____ 2016 г.

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

направление 15.03.02 «Технологические машины»
профиль 15.03.02.01 «Проектирование технических и технологических
комплексов»

**Совершенствование конструкций резервуаров с
плавающими крышками, предназначенных для хранения
нефтепродуктов**

Руководитель	_____	<u>к.т.н., доцент</u>	<u>Е.А. Соловьёв</u>
Выпускник	_____		<u>В.И. Крутий</u>

Красноярск 2016

Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение
высшего образования
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Институт нефти и газа
Кафедра Технологические машины и оборудования нефтегазового комплекса

УТВЕРЖДАЮ
Заведующий кафедрой
_____ Э. А. Петровский
« ____ » _____ 2016 г.

ЗАДАНИЕ
НА ВЫПУСКНУЮ КВАЛИФИКАЦИОННУЮ РАБОТУ

Студенту Крутий Василию Игоревичу

Группа НБ 12-02

Направление подготовки 15.03.02 «Технологические машины»

Профиль 15.03.02.01 Проектирование технических и технологических комплексов

Тема выпускной квалификационной работы «Совершенствование конструкций резервуаров с плавающими крышками, предназначенных для хранения нефтепродуктов»

Утверждена приказом по университету № _____ от _____

Руководитель ВКР Е.А. Соловьёв, доцент кафедры ТМиОНГК, Институт нефти и газа Сибирского федерального университета

Исходные данные для ВКР: Резервуары с плавающими крышками (РВСПК) предназначены для хранения нефтепродуктов, объемом 10000 м³, нормативный срок службы которого должен составить 10 лет. Хранимый нефтепродукт: бензин (по ГОСТ Р 51866-2002).

Перечень рассматриваемых вопросов (разделов ВКР):

Введение. Актуальность темы и современное состояние проблемы.

Раздел 1 – Литературный обзор. Аналитический обзор литературы, в том числе патентных источников по теме работы. Изучение основных характеристик РВСПК, технологических особенностей процессов монтажа конструкции. Сравнительный анализ существующих конструкций РВСПК. Особенности конструкций и проблемы при эксплуатации плавающих крышек. Заключение литературному обзору, постановка задач на проектирование.

Раздел 2 – Конструкторско-технологический раздел. Разработка конструкции РВСПК. Расчёт основных параметров РВСПК (расчет геометрических параметров конструктивных элементов, расчёт фундамента, прочностной расчёт). Выбор и обоснование вспомогательного оборудования (насосы, запорная и регулирующая арматура, средства автоматизации технологического процесса, средства обеспечения безопасности).

Раздел 3 – Эксплуатация и ремонт. Разработка мероприятий по техническому обслуживанию, текущему и капитальному ремонту РВСПК.

Заключение. Выводы по результатам выполненной работы.

Перечень графического и иллюстративного материала: Чертёж общего вида РВСПК (1 лист формата А1), чертеж водоспускной системы (1 лист формата А1),

чертеж торцевого уплотнения (1 лист формата А3), презентация (12 –16 страниц).

Руководитель ВКР _____ Е.А. Соловьёв

Задание принял к исполнению _____ В.И. Крутий

«___» _____ 2016 г.

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа по теме «Совершенствование конструкций резервуаров с плавающими крышками, предназначенных для хранения нефтепродуктов» содержит 83 страницы текстового документа, 24 рисунка, 8 таблиц, 12 использованных источников, 3 листа графического материала.

ПЛАВАЮЩИЕ КРЫШИ, ВОДОСПУСК, ОПТИМИЗАЦИЯ КОНСТРУКЦИИ, УПЛОТНЯЮЩИЙ ЗАТВОР, ХРАНЕНИЕ НЕФТЕПРОДУКТОВ

Цель работы: Спроектировать резервуар с плавающей крышей для хранения бензина. Выявить проблемы при эксплуатации резервуаров. Усовершенствовать конструкцию резервуара.

Для достижения поставленной цели были решены следующие задачи:

- выявлены проблемы, возникающие при эксплуатации резервуаров;
- усовершенствован уплотняющий затвор плавающей крыши ;
- спроектирована система водоспуска состоящая из гибких и жестких звеньев.

В ходе выполнения выпускной работы была проанализирована информация о конструкциях современных резервуаров с плавающей крышей. Сформулирована и решена задача оптимизации конструкции узлов резервуара. Применение усовершенствованного уплотняющего затвора и системы водоспуска увеличило надежность и долговечность резервуара.

Содержание:

Введение.....	8
1 Литературный обзор.....	9
1.1 Основные характеристики резервуаров с ПК.....	9
1.1.1 Торцевые уплотнения.....	11
1.1.2 Водоспускное устройство.....	12
1.2 Патентно-информационный обзор.....	14
1.2.1 Плавающая крыша резервуара (RU 2264338).....	14
1.2.2 Крыша нефтеналивного резервуара плавающая (RU 2339562).....	18
1.2.3 Водослив плавающих резервуаров (RU 2109669).....	22
1.2.4 Резервуар с плавающей крышей (RU 2301187).....	24
1.2.5 Уплотняющий затвор плавающих крыш резервуаров (RU 2307777).....	28
1.3 Заключение к литературному обзору.....	30
2 Конструкторско-технологический раздел.....	32
2.1 Расчёт геометрических параметров резервуара.....	32
2.2 Расчет толщины стенки резервуара.....	34
2.3 Определение снеговой и ветровой нагрузки на резервуар.....	38
2.4 Расчет конструктивных элементов резервуара на прочность.....	39
2.5 Расчет конструктивных элементов РВСП на устойчивость.....	44
2.6 Расчет сопряжения стенки резервуара с днищем.....	47
2.7 Расчет резервуара на опрокидывание и определение контурного давления на фундамент.....	56
2.8 Расчет плавающей крыши.....	63
2.9 Водоспускная система.....	64
2.10 Эксплуатационное оборудование.....	66
2.11 Вспомогательное оборудование.....	74
2.12 Устройства молниезащиты.....	74

2.13 Итоги раздела.....	75
3 Эксплуатация и ремонт.....	76
3.1 Техническое обслуживание, текущий и капитальный ремонт.....	76
3.2 Защита от коррозии.....	77
3.3 Испытание и приемка резервуара.....	78
Заключение.....	81
Список используемых источников.....	82
Приложение А. Графические материалы.....	84

ВВЕДЕНИЕ

Резервуары являются важнейшим структурным элементом всей нефтяной отрасли. Тяжело представить существование нефтяной отрасли без использования резервуаров, они являются фундаментом нефтяной промышленности.

Резервуары предназначены для приема, хранения, выдачи, смешении, учета продукта и отстоя технической воды.

По конструктивным особенностям резервуары подразделяются на:

- резервуары со стационарной крышей;
- с плавающей крышей;
- с понтоном.

Главное преимущество резервуаров с плавающей крышей заключается в сокращении до 98% потерь от испарения хранимых нефтепродуктов, а также более низкая стоимость чем резервуары с понтоном

Основными проблемами при эксплуатации является перекос плавающей крыши, ее зависание на внутренних стенках резервуара либо ее потопление. Также имеются проблемы в водоотводящей системе с поверхности крышки, а именно в шарнирном соединении. Коррозия стенок и днища.

Целью данной работы является совершенствование конструкции резервуаров с плавающей крышей. разработка конструкции водоспускной системы, основное преимущество которой будет заключается в высокой надежности и долговечности.

Для достижения поставленных задач проектируется резервуар обеспечивающий бесперебойную работу на протяжении заявленного срока эксплуатации. Применена усовершенствованная водопускная система состоящая из гибких и жестких звеньев. Применены меры по коррозионной обработке.

1 ЛИТЕРАТУРНЫЙ ОБЗОР

1.1 Основные характеристики резервуаров с ПК

Резервуары с плавающими крышами, сооружаемые по типовым проектам емкостью 200, 400, 700, 1000, 2000, 3000, 5000, 10 000, 15 000 и 20 000 м³, могут применяться в южных благоприятных климатических условиях. В северных районах с большим количеством атмосферных осадков, а именно снегового покрова, эксплуатация плавающих крыш без защиты практически невозможна. В связи с этим применяются резервуары, имеющие, кроме плавающей крыши, еще и постоянную герметичную крышу. Стационарная крыша выполняется щитовой по аналогии с типовыми резервуарами. Резервуары имеют емкость от 200 до 20 000 м³.

Кроме стальных понтонов применяются также понтоны из пластмасс, с пластмассовым понтоном и стационарной стальной кровлей.

Плавающие крыши для резервуаров бывают двух типов - однодечная и двудечная.

1) Однодечные плавающие крыши

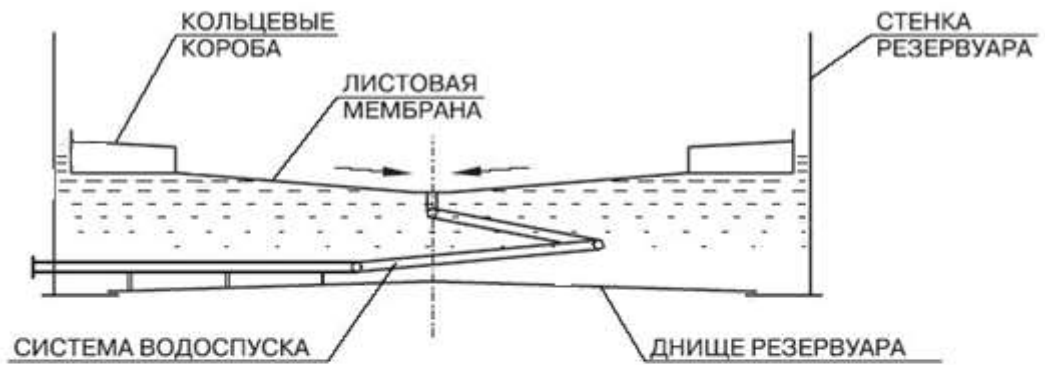
Применяют в районах где, снеговая нагрузка не превышает 240 кг/м². Рекомендуется применять для резервуаров диаметром не более 50 м и в районах строительства, где скорость ветра не превышает 100 км/час. При больших диаметрах и большей скорости ветра возникают значительные динамические нагрузки на мембрану крыши, которые могут привести к ее повреждению.

2) Двудечные плавающие крыши

Выполняются по двум вариантам конструктивного исполнения:

- традиционная крыша с наружными радиальными отсеками и кольцевыми отсеками центральной части, формирование которых производится на монтаже;
- унифицированная крыша с радиальными коробами заводского изготовления, применение которых сокращает объем монтажной сборки и с варки более чем на 40% по сравнению с традиционным вариантом [1].

ОДНОДЕЧНАЯ ПЛАВАЮЩАЯ КРЫША



ДВУДЕЧНАЯ ПЛАВАЮЩАЯ КРЫША

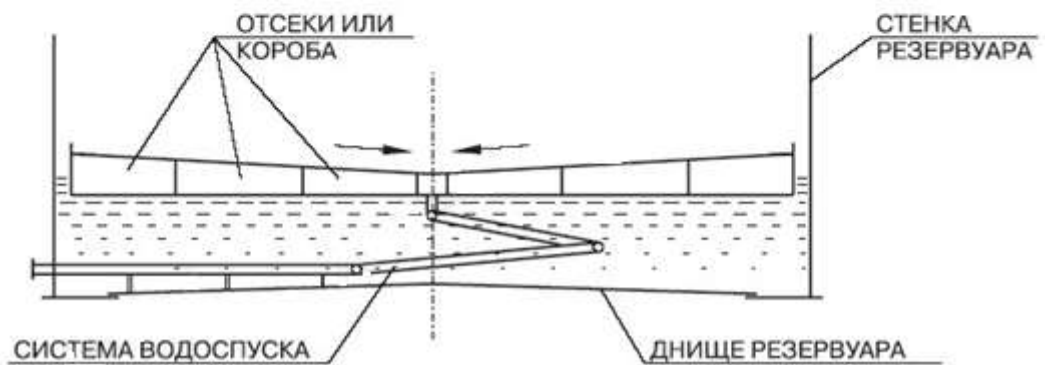


Рисунок 1 - Типы конструкций плавающих крыш.

1.1.1 Торцевые уплотнения

Для герметизации кольцевого зазора между стенкой резервуара и плавающей крышей для того, чтобы сократить потери от испарения хранимой

нефти и нефтепродуктов, а также для предотвращения попадания воды и частиц пыли и грязи используется специальный уплотняющий затвор.

Уплотняющий затвор (Рисунок 2) состоит из скользящих листов, подвесного устройства, завесы, пружин, вторичного уплотнения и защитных листов. Подвесное устройство воспринимает вес скользящих листов и обеспечивает их перемещение относительно стенки резервуара. Благодаря пружинам обеспечивается плотное прилегание скользящих листов к внутренней стенки резервуара. Для герметичности затвора предназначена уплотнительная завеса. Вторичное уплотнение служит для предотвращения попадания атмосферных осадков в хранимые нефтепродукты и выхода паров нефтепродукта между скользящим листом и стенкой резервуара. Защитные листы предназначены для защиты полости затвора от попадания атмосферных осадков и посторонних предметов. Для резервуаров с нефтью затвор поставляется в комплекте со скользящими листами, нижняя часть которых выполнена в форме скребков, которые служат для удаления парафина с поверхности внутренней стенки резервуара. Затвор УЗПК предназначен для резервуаров объемом от 5000 до 50000 м³ [1].

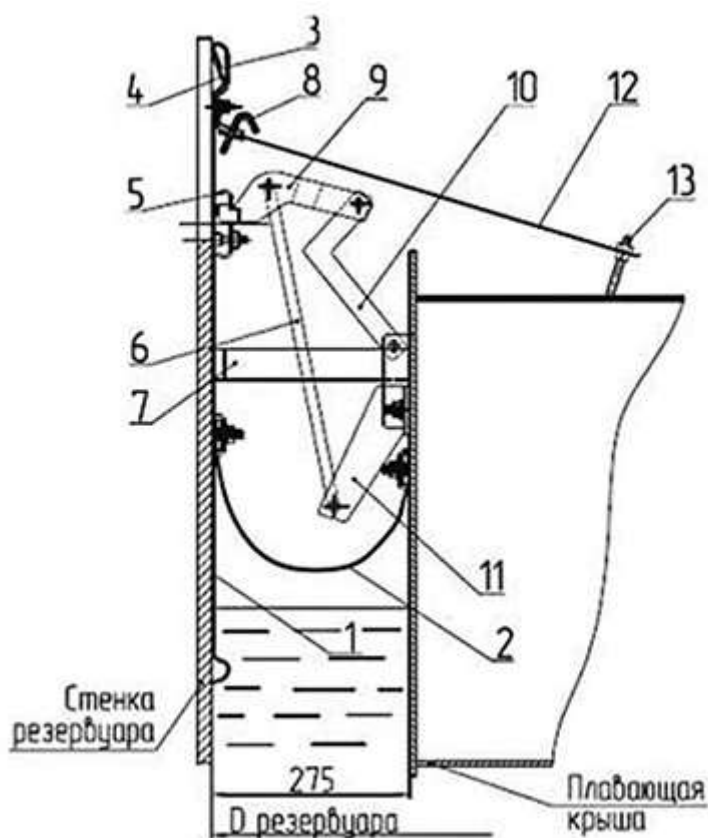


Рисунок 2 - Затвор плавающей крыши УЗПК.

- 1-скользящий лист; 2-уплотнительная завеса; 3-вторичное уплотнение;
 4-прижимная шина; 5-замок подвески; 6-поддерживающий рычаг; 7-пружина сжатия;
 8-крюк; 9-подвесной крюк; 10-колениобразный рычаг; 11-держатель кронштейна
 подвески; 12-защитный лист;
 13-опорная шпилька.

1.1.2 Водоспускное устройство

Для отвода ливневых вод с поверхности крыши мембрана крыши имеет уклон к центру, который достигается пригрузом её центральной части, где устанавливается водоспуск гибкого или шарнирного типа с заборным устройством и обратным клапаном.

Водоспуск (Рисунок 3) состоит из приёмной камеры, узлов свёртки и приёмного узла, соединённых посредством труб в шарнирный параллелограмм. Фланец приёмного узла соединяется с фланцем водоотводящего коллектора резервуара, а приёмная камера - с плавающей крышей резервуара, перемещающейся в процессе наполнения и опорожнения резервуара нефтепродуктом. С плавающей крыши вода спускается через шарниры, трубы и отводящий коллектор в утилизацию. Диаметр условного прохода трубопровода водоспускного устройства - 100 мм.

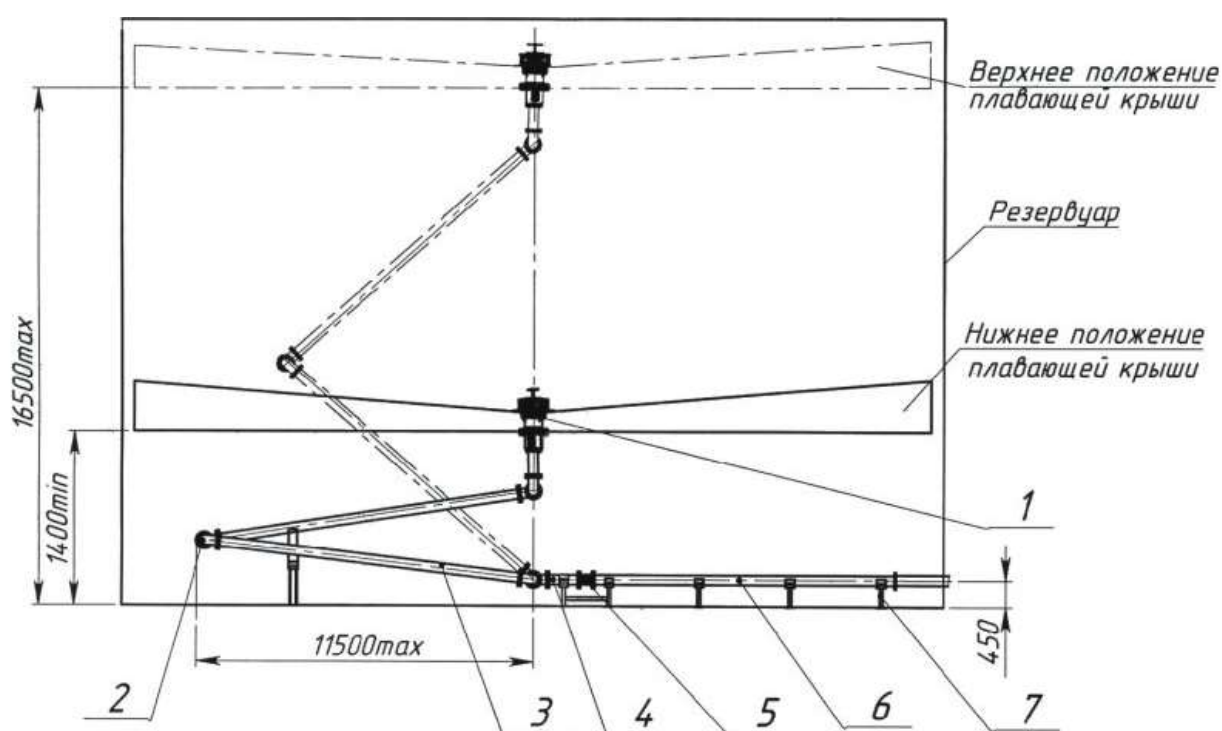


Рисунок 3 - Водоспускное устройство

1-приемный узел; 2-шарнир; 3-соединительная труба; 4-приемная камера; 5-сильфон; 6- водоотводящий коллектор; 7-опора.

В качестве гибких рукавных вставок могут быть использованы гофрированные металлорукава из нержавеющей стали или резинотканевые

армированные рукава. Соединение резинотканевых гибких вставок с трубами ниппельно-муфтовое с опрессовкой муфты.

При эксплуатации водоспускные устройства являются пожаровзрывобезопасными, несгораемыми, и их конструкция не вызывает искрообразования. Водоспускные устройства сохраняют технические характеристики после дегазации и дезактивации.

Обратный клапан, с одной стороны, позволяет отводить ливневые воды за пределы резервуара, с другой предотвращает попадание продукта на поверхность крыши резервуара [1].

1.2 Патентно-информационный обзор

На примере патентно-информационного обзора разберем существующие виды элементов конструкций резервуаров с плавающими крышами. Произведем оценку полезности конструкций, а также их основные недостатки.

1.2.1 Плавающая крыша резервуара (RU 2264338)

Плавающая крыша резервуара включает центральную часть с расположенными по ее периметру коробами понтонного кольца и оснащена, по меньшей мере, тремя сигнализаторами аварийности. Каждый сигнализатор аварийности выполнен в виде полого цилиндрического поплавка с автономной плавучестью, заполненного диэлектрической жидкостью, и снабжен внутри реостатом и скользящими по нему электрическими контактами. Электрические контакты через подвеску имеют жесткое соединение с плавающей крышей, а полый цилиндрический поплавок сигнализатора аварийности снабжен

регулятором плавучести. Устройство повышает надежность работы за счет своевременного выявления аварийного положения плавающей крыши.

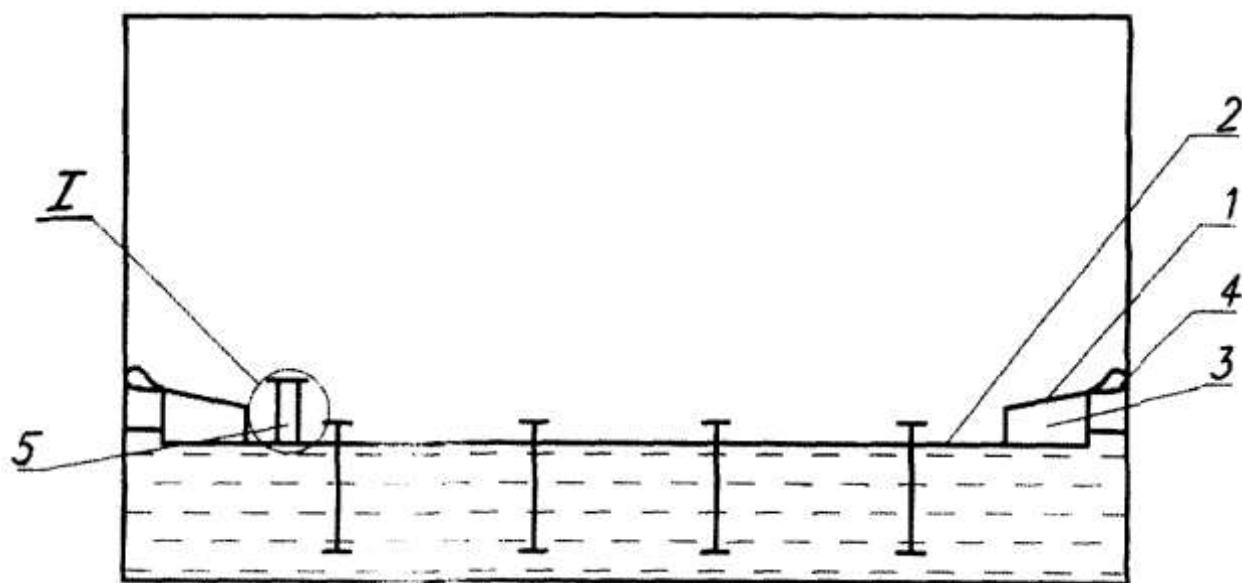


Рисунок 4 - Плавающая крыша резервуара.

Плавающая крыша 1 (Рисунок 4) состоит из центральной части 2, коробов понтонного кольца 3 с уплотняющим затвором 4, сигнализатора аварийности 5 и имеет проектную глубину погружения - ватерлинию 6.

Технической задачей разработанной плавающей крыши резервуара является повышение надежности работы за счет своевременного выявления аварийного положения, т.е. превышения проектного погружения плавающей крыши.

Поставленная техническая задача достигается тем, что плавающая крыша резервуара, включающая центральную часть с расположенными по ее периметру коробами понтонного кольца, и оснащенная, по меньшей мере, тремя сигнализаторами аварийности, в отличие от прототипа, каждый сигнализатор аварийности выполнен в виде полого цилиндрического поплавка с автономной плавучестью, заполненного диэлектрической жидкостью, и снабжен внутри реостатом и скользящими по нему электрическими контактами,

причем, электрические контакты через подвеску имеют жесткое соединение с плавающей крышей, при этом полый цилиндрический поплавок сигнализатора аварийности снабжен регулятором плавучести.

В заявляемой ПК сигнализатор аварийности, в отличие от прототипа, можно устанавливать не только в коробах понтонного кольца, но и на центральной части ПК, причем количество сигнализаторов должно быть не менее трех и они должны располагаться в коробах понтонного кольца или же как можно ближе к ним, равномерно на одной окружности. Минимальное количество устанавливаемых сигнализаторов аварийности определяется из условия получения достоверной информации об изменениях проектного погружения (увеличение или уменьшение погружения, перекося) ПК. При перекося ПК, т.е. при вращении ее вокруг горизонтальной оси, проходящей через центр ПК, сигнализатор, расположенный на этой оси, может и не фиксировать незначительное изменение глубины погружения ПК, а остальные, минимум два сигнализатора аварийности, будут давать информацию на пульт управления о погружении части ПК с одной стороны и об уменьшении погружения противоположной стороны ПК.

Сигнализатор аварийности 5 (Рисунок 5) состоит из полого цилиндрического поплавка 7, заполненного диэлектрической жидкостью 8, камеры 9, регулятора плавучести 10; диэлектрической крышки 11. Внутри полого цилиндрического поплавка 7, в жестком соединении с ним расположен реостат 12 со скользящими контактами 13. Скользящие контакты 13 со своей регулируемой по высоте подвеской 14 жестко установлены при помощи гаек 15, 16 на фланце 17 патрубка ПК1. Сигнализатор аварийности 5 соединен с патрубком 18 ПК1 при помощи токопроводящего гибкого элемента 19 и болта-

пробки 20, что образует замкнутую цепь для нормальной работы КСП (контрольно-самопишущего прибора). Фланец 17 патрубка 18 ПК1 снабжен клапаном 21

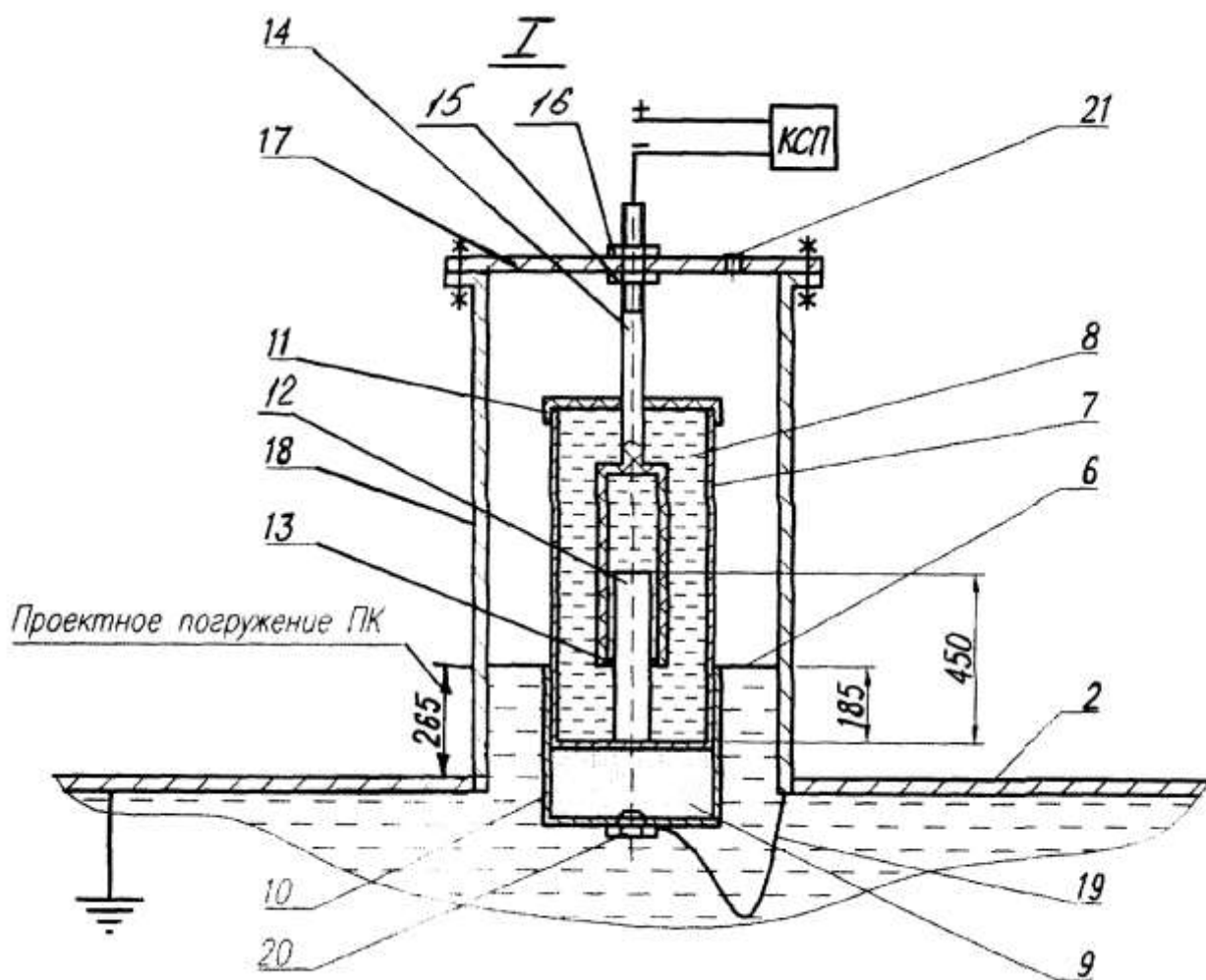


Рисунок 5 - Сигнализатор аварийной активности.

Использование предлагаемого изобретения позволяет постоянно следить за изменением ватерлинии 6 (плавучести) ПК, тем самым косвенно не поднимаясь на резервуар, по величине изменения сопротивления в цепи, можно диагностировать техническое состояние ПК и предотвратить аварии, вызванные затоплением, зависанием и перекосом ПК.

Применение предлагаемой плавающей крыши резервуара повышает надежность в сокращении потерь, позволяет получить лучшие технико-экономические показатели при эксплуатации резервуара [2].

1.2.2 Крыша нефтеналивного резервуара плавающая (RU 2339562)

Изобретение относится к нефтеналивному оборудованию и может быть использовано для плавающих крыш значительного диаметра от 3 до 60 м. Крыша выполнена волнообразной с радиально расположенными сливными лотками нефтеналивного резервуара. Изобретение обеспечивает надежный отвод атмосферных осадков, исключая потопление плавающей крыши от накопления атмосферных осадков в нефтепродукт и посторонних предметов в нефтехранилище, путем создания надежного отвода сливных стоков, способствующих равномерному опусканию крышки нефтеналивного резервуара на гибкие сливные шланги, повышения прочности гибкого листового профиля стяжками, выполняемыми из стандартного различного профиля.

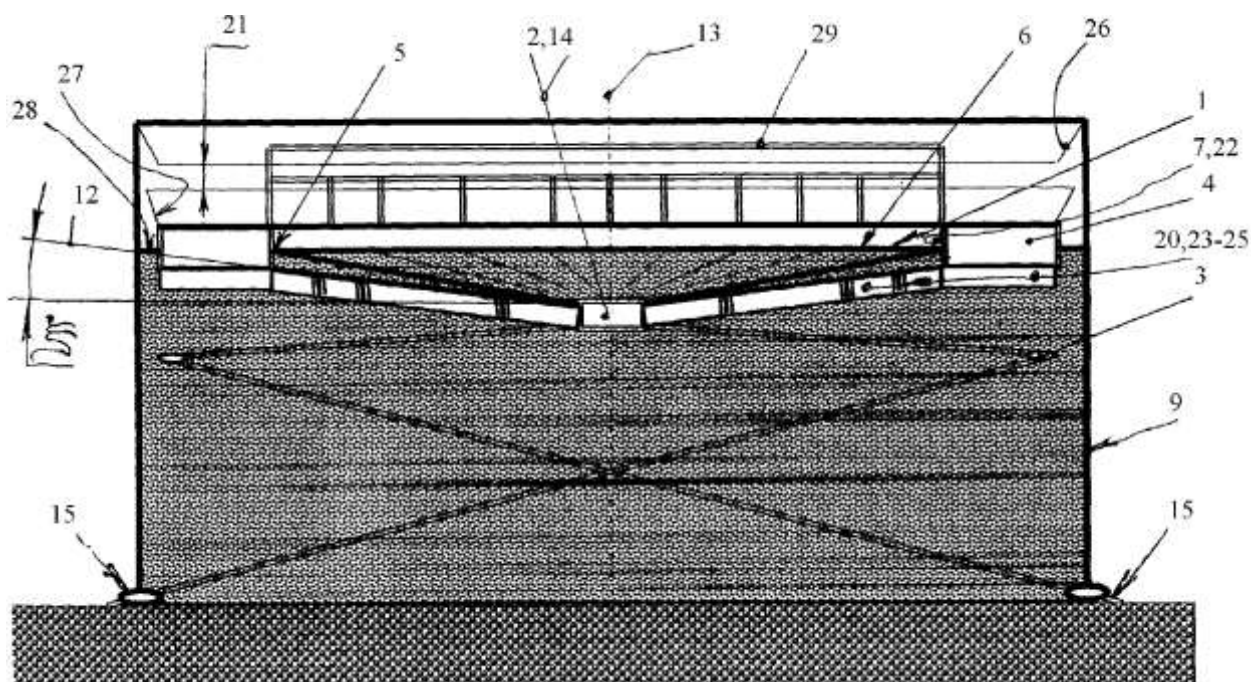


Рисунок 6 - Сечение нефтехранилища с показом крыши.

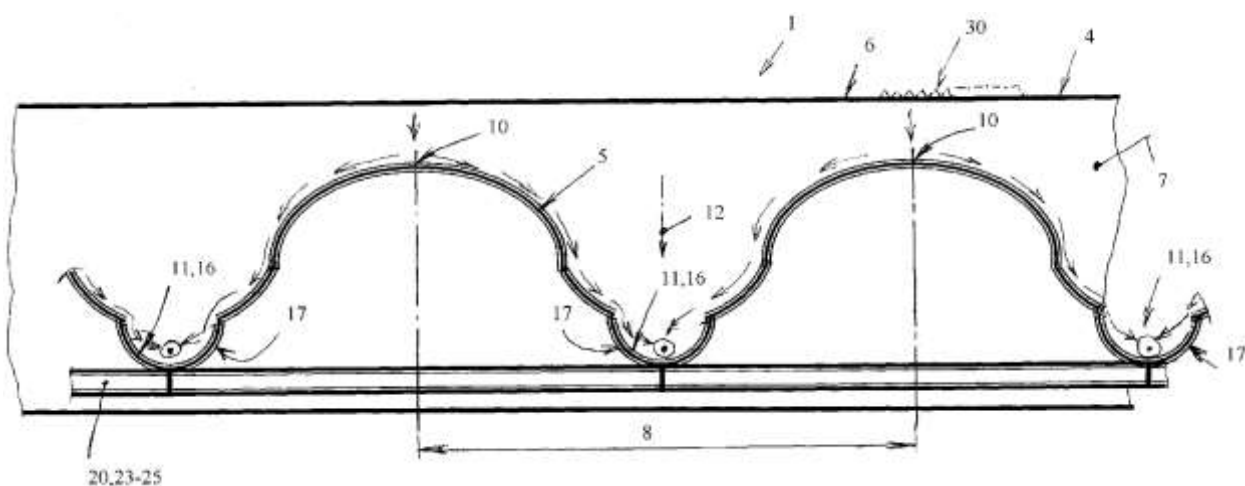


Рисунок 7 - Профиль развертки периферийной границы крыши нефтеналивного устройства.

Позиции цифровых обозначений, изложенных в графических материалах: крыша нефтеналивного резервуара (1); центральное отверстие (2); элементы водослива (3); кольцевой понтон (4); периферия наружной поверхности (5); горизонтальная поверхность (6) кольцевого понтона (4); внутренняя поверхность (7); глухое отверстие (22); профиль (8); резервуар (9);

волнообразный профиль (10); сливные впадины лотков (11); $\xi \approx 0,5-3^\circ$ для осей (12); центр (13); цилиндрический оболочковый накопитель (14); сливные стоки (15); волнообразные впадины (16); нижняя поверхность (17); ребро (20); уголок (23); швеллер (24); тавр (25); зазор (21); угловой профиль козырька (26); угловой профиль козырька (27); нефтеналивной слой (28); кольцевые поручни (29); рифления (30).

Описание плавающей крышки нефтеналивного резервуара.

Крыша нефтеналивного резервуара (1), плавающая, с центральным отверстием (2), связанным с элементами водослива (3), и граничащая с кольцевым понтоном (4), отличается тем, что:

- периферия (5) кольцевой крышки (1) жестко связана по волнообразной линии с кольцевым понтоном (4);
- профиль (8) крышки (1) резервуара (9) выполнен волнообразным;
- в радиальном направлении к центру (13) выполнены сливные лотки (11);
- радиальный уклон впадин лотков (11) $\xi \approx 0,5-3^\circ$ для осей (12);
- центр (13) крышки (1) резервуара (9) снабжен цилиндрическим оболочковым накопителем (14) сливных стоков (15);
- волнообразные впадины (16) с нижней поверхностью (17) равномерно относительно оси (13) центрального глухого отверстия (22) жестко соединены стяжками, выполненными в виде ребер (20), уголков (23), швеллеров (24) и/или тавров (25);
- зазор (21), образуемый угловым профилем козырька (26) резервуара (9) и параллельно ему расположенным угловым профилем козырька (27) крышки (1) выполнен с возможностью перекрытия доступа атмосферных осадков в зону кольцевого расположения нефтеналивного слоя (28) по внутреннему профилю резервуара (9);

- на поверхности (6) понтона (4) установлены кольцевые поручни (29), выполненные с возможностью удержания обслуживающего персонала в процессе обслуживания и установки плавающей крышки нефтеналивного резервуара;

- поверхность понтона (4) снабжена рифлениями (30).

Пример выполнения плавающей крышки нефтеналивного резервуара.

Крыша нефтеналивного резервуара (1), плавающая, с центральным отверстием (2), связанным с элементами водослива (3), и граничащая с кольцевым понтоном (4), выполняется таким образом, что:

- периферия (5) кольцевой крыши (1) жестко связана по волновой линии с кольцевым понтоном (4);

- профиль (8) крышки (1) резервуара (9) выполнен волнообразным;

- в радиальном направлении к центру (13) выполнены сливные лотки (11);

- радиальный уклон впадин лотков (11) $\xi \approx 0,5-3^\circ$ для осей (12);

- центр (13) крышки (1) резервуара (9) снабжен цилиндрическим оболочковым накопителем (14) сливных стоков (15);

- волнообразные впадины (16) с нижней поверхностью (17) равномерно относительно оси (13) центрального глухого отверстия (22) жестко соединены стяжками, выполненными в виде ребер (20), уголков (23), швеллеров (24) и/или тавров (25);

- зазор (21), образуемый угловым профилем козырька (26) резервуара (9) и параллельно ему расположенным угловым профилем козырька (27) крыши (1), выполнен с возможностью перекрытия доступа атмосферных осадков в зону кольцевого расположения нефтеналивного слоя (28) по внутреннему профилю резервуара (9);

- на поверхности (6) понтона (4) установлены кольцевые поручни (29), выполненные с возможностью удержания обслуживающего персонала в

процессе обслуживания и установки плавающей крышки нефтеналивного резервуара;

- поверхность понтона (4) снабжена рифлениями (30).

Промышленная полезность нового технического решения заключается в установке волнообразной крыши с радиально расположенными сливными лотками нефтеналивного резервуара, обеспечивающими надежный отвод атмосферных осадков, исключающий потопление плавающей крыши от накопления атмосферных осадков в нефтепродукт и посторонних предметов в нефтехранилище, путем создания надежного отвода сливных стоков, способствующих равномерному опусканию крышки нефтеналивного резервуара на гибкие сливные шланги, повышения прочности гибкого листового профиля стяжками, выполняемыми из стандартного различного профиля.

Экономическая целесообразность изобретения заключается в оптимизации хранения, наполнения и слива нефтепродуктов, зависящих от конструкции плавающей крыши нефтеналивного резервуара [3].

1.2.3 Водослив плавающих резервуаров (RU 2109669)

Водослив плавающих крыш резервуаров содержит дренажные отверстия в центре крышки и в низшей части стенки резервуара, которые соединены трубопроводом с образованием непрерывного водосливного канала. Водосливной канал состоит из горизонтально расположенной и жестко закрепленной к крыше радиальной части и гибкой части трубопровода. Гибкая часть трубопровода размещена по периферии резервуара и выполнена в виде

гибкого гофрированного металлического трубопровода из нержавеющей стали. Гибкий гофрированный металлический трубопровод соединен при помощи гибких тяг с периферией плавающей крыши в радиальном сечении резервуара. Гибкие тяги выполнены длиной, равной расстоянию от точек крепления их на трубопроводе и плавающей крыше при верхнем расположении крыши в резервуаре.

Целью настоящего изобретения является повышение технологичности изготовления и увеличение срока службы водосливов плавающих крыш резервуаров.

Указанная цель достигается тем, что водослив плавающих крыш резервуаров содержит присоединительные патрубки на плавающей крыше и на стенке резервуара, которые соединены гибким металлическим рукавом из нержавеющей стали, причем средняя часть рукава соединены при помощи гибких тяг в радиальном направлении с периферией плавающей крыши с длиной их, равной расстоянию от точек крепления их на трубопроводе и плавающей крыше при верхнем расположении ее.

Упомянутое расположение гибкого трубопровода в сочетании с оптимальной длиной его, позволяет обеспечить необходимые условия применения металлорукавов с гибкой частью из нержавеющей сталей и тем самым обеспечить необходимый срок службы их и водослива в целом без снижения технологичности монтажа и эксплуатации.

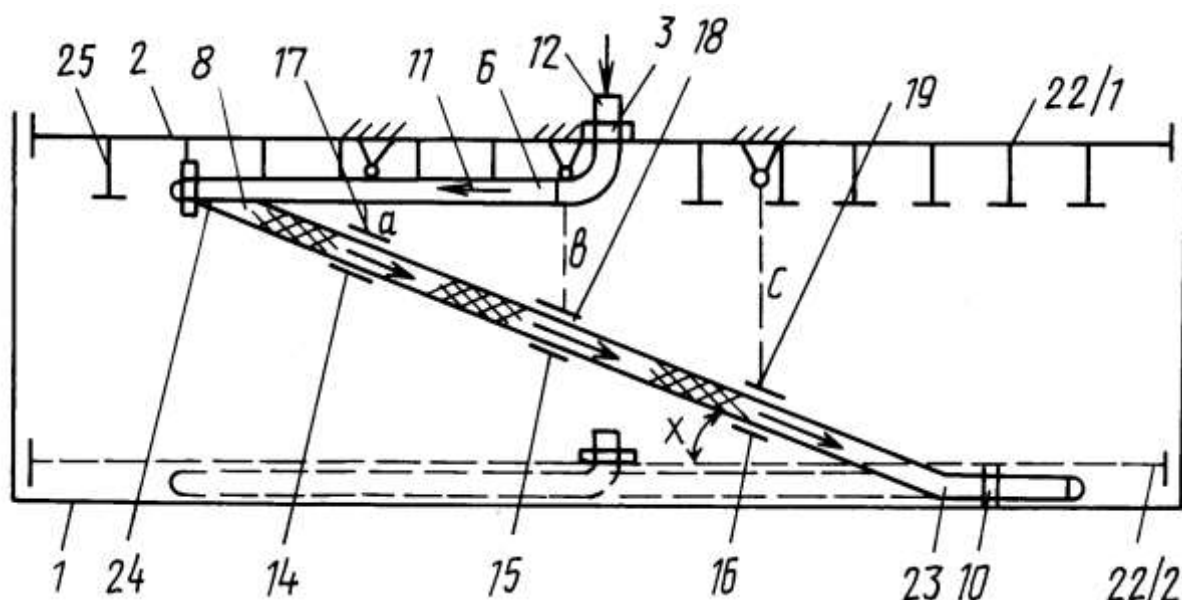


Рисунок 8 - Водослив резервуара

Резервуар 1 с плавающей крышей 2, который содержит соединительные патрубки 3, 4, прикрепленные герметично к крыше 2 и к стенке 5, в нижней части ее. К патрубку 3 присоединена труба 6 (от центра крыши к ее периферии) с отводом 7. Отвод 7 и патрубок 4 соединены гибким металлическим трубопроводом 8 из нержавеющей стали (рукав) посредством фланцев 9, 10, образуя непрерывный водосливной канал 11 от дренажного входного отверстия 12 в крыше 2 до дренажного выходного отверстия 13 в стенке 5 резервуара, с длиной этого рукава 8, равной наименьшей длине боковой стенки 5, причем рукав 8 посредством хомутов 14, 15, 16 прикреплен гибкими тягами 17, 18, 19 (тросами) к периферии 20 крыши 2 посредством скоб 21. Длина гибких тяг a, b, c , соответственно равна расстоянию от периферии 20 крыши 2, в самом верхнем положении 22/1, до хомутов 14, 15, 16 и чуть более.

Предлагаемое расположение гибкого трубопровода 8 в сочетании с выбранной длиной его и гибких тяг позволяет обеспечить благоприятную трассировку гибкого трубопровода при вертикальных перемещениях

плавающей крыши 2. Например, при максимальной высоте расположения крыши 2 рукав 8 располагается прямолинейно под углом "х", с оптимальными радиусами изгибов в зонах присоединения 23, 24. А при перемещении крыши 2 в нижнюю позицию 22/2 рукав 8 располагается вдоль боковой стенки 5 с минимальными изгибами, причем именно гибкие тяги 17, 18, 19 обеспечивают подтяжку избытка длины рукава 8 к периферии дна резервуара без нежелательных дополнительных изгибов, предотвращая деформирование его опорами 24 крыши 2.

Применение в водосливах резервуаров рукава из коррозионностойкой нержавеющей стали в сочетании с благоприятной схемой монтажа его в резервуаре, обеспечивая необходимый срок службы, позволяет снизить стоимость изготовления и эксплуатации водосливов [4].

1.2.4 Резервуар с плавающей крышей (RU 2301187)

Изобретение относится к резервуарам для хранения нефти, нефтепродуктов и других легкоиспаряющихся жидкостей, имеющим устройство для слива воды с плавающей крышей и касается резервуара, включающего корпус, днище, плавающую крышу с водосливной системой, в которой водосливной канал состоит из двух плеч гибкого рукава с поворотной вставкой между двумя плечами, в каждое гибкое плечо посередине вставлено жесткое звено, концы которого заканчиваются соответственно верхним, нижним и промежуточными кронштейнами, причем верхний кронштейн своим верхним концом подвешен при помощи гибкой тяги к плавающей крыше, нижний кронштейн своим нижним концом при помощи шарнира прикреплен к опоре на дне резервуара, а два промежуточных кронштейна верхнего и нижнего плеч между собой соединены поворотным шарниром. Благодаря исключению из конструкции шарнирных соединений в самом водосливном канале достигнута его герметичность, а сочетание в нем гибких плеч с жесткими

Technical drawing of a mechanical device, likely a pump or valve assembly, showing a cross-section. The drawing includes various components labeled with numbers 1 through 26. Key features include:

- 1**: Main body or housing.
- 2**: A vertical support or guide.
- 3**: A horizontal support or guide.
- 4**: A small component at the top right.
- 5**: A curved pipe or channel.
- 6**: A component within the curved pipe.
- 7**: A horizontal pipe or channel.
- 8**: A vertical support or guide.
- 9**: A component within the curved pipe.
- 10**: A curved pipe or channel.
- 11**: A component within the curved pipe.
- 12**: A horizontal pipe or channel.
- 13**: A component within the curved pipe.
- 14**: A vertical support or guide.
- 15**: A curved pipe or channel.
- 16**: A component within the curved pipe.
- 17**: A component within the curved pipe.
- 18**: A component within the curved pipe.
- 19**: A component within the curved pipe.
- 20**: A component within the curved pipe.
- 21**: A component within the curved pipe.
- 22**: A component within the curved pipe.
- 23**: A component within the curved pipe.
- 24**: A component within the curved pipe.
- 25**: A component within the curved pipe.
- 26**: A component within the curved pipe.

Additional labels and symbols include:

- А**: A horizontal arrow pointing left.
- Б**: A horizontal arrow pointing right.
- Задвижка**: A label at the bottom right, likely indicating a valve or gate.

В предлагаемом резервуаре с плавающей крышей, включающем корпус, днище, плавающую крышу с водосливной системой, в которой водосливной

канал состоит из двух плеч гибкого рукава с жесткой дугообразной вставкой, расположенной посередине между двумя плечами, поставленная задача решается за счет того, что в каждое гибкое плечо посередине вставлено жесткое звено из трубы, концы которого заканчиваются соответственно верхним, нижним и промежуточными кронштейнами (держателями), причем верхний кронштейн своим верхним концом подвешен при помощи гибкой тяги к нижней поверхности плавающей крыши, нижний кронштейн имеет форму вилки и своим нижним концом при помощи двух шарниров прикреплен к опоре на дне резервуара, а два смежных кронштейна верхнего и нижнего плеч между собой соединены поворотным шарниром. Жесткая дугообразная вставка между двумя плечами имеет угол загиба 150° ... 180° .

Снабжение обоих плеч гибкого рукава жесткими звеньями посередине с прикрепленными к их концам кронштейнами, подвеска верхнего кронштейна к плавающей крыше на гибкой связи, шарнирное соединение двух смежных кронштейнов между собой обеспечивают общую подвижность водосливного канала, при этом разгружается и предохраняется от повреждения гибкий участок водосливного канала. Гибкое подвешивание водосливной системы к плавающей крыше и крепление подвижной части водосливной системы к днищу резервуара при помощи шарнира исключают передачу крутящего и изгибающего моментов на водосливную систему при наклоне, при радиальном смещении плавающей крыши, а также при действии струйного потока жидкости на водосливной канал. Ограничение угла загиба дугообразной вставки в пределах 150° ... 180° дает возможность разгрузить жесткий рукав. Все это способствует упрощению конструкции и повышению надежности водосливной системы в целом.

Резервуар (Рисунок 9) содержит корпус 1, днище 2, плавающую крышу 3 с водоприемником 4, соединенным через фланцы 5 с водосливной системой,

состоящей из гибкого 6 и закрепленного на днище 2 неподвижного 7 участков, последний из них выполнен в виде трубы, выведен наружу корпуса 1 под небольшим уклоном и установлен на опорах 8. Гибкий участок 6 выполнен складывающимся и включает в направлении течения воды отвод 9, соединенный с водоприемником 4, верхнее гибкое плечо 10, дугообразную вставку 11, нижнее гибкое плечо 12. Посередине верхнего 10 и нижнего 12 гибких плеч вставлены жесткие звенья соответственно 13 и 14. По концам жестких звеньев 13 и 14 приварены верхний 15, нижний 16 и промежуточные (их два) 17 кронштейны. Верхний кронштейн своим свободным концом, имеющим отверстие 18, при помощи гибкой тяги 19 прикреплен (подвешен) к плавающей крыше 3 через соединительный элемент 20. Нижний кронштейн 16 имеет форму вилки и свободным концом прикреплен при помощи двух шарниров 21 к днищу 2 через опорное устройство 22, закрепленное на днище 2 при помощи сварного шва.

Два промежуточных кронштейна 17 соединены между собой шарнирно при помощи оси 23 и шплинта 24. На днище 2 установлен опорный элемент 25 для фиксации подвижной части водосливного канала при крайнем нижнем положении с небольшим уклоном в сторону задвижки. Неподвижный участок 7 имеет фланцевое соединение 26, служащее для удобства сборки и разборки водосливной системы.

Жесткие звенья 13, 14 изготавливаются из обычных стальных труб, которые проще, надежнее и дешевле по сравнению с резинотканевыми шлангами или гофрированными металлорукавами, используемыми для изготовления гибких плеч 10 и 12. Гибкая тяга 19 изготавливается из многозвенной металлической цепи или металлического каната. Соединение жестких звеньев 13 и 14 с гибкими плечами выполняется на фланцах, (вариант резинотканевым рукавом) или на сварке (вариант гофрированного

металлорукава). Длины гибких плеч 10 и 12 выбираются так, чтобы радиусы их изгиба были не менее минимально допустимого радиуса изгиба для данного рукава (около 5 диаметров рукава) [5].

1.2.5 Уплотняющий затвор плавающих крыш резервуаров (RU 2307777)

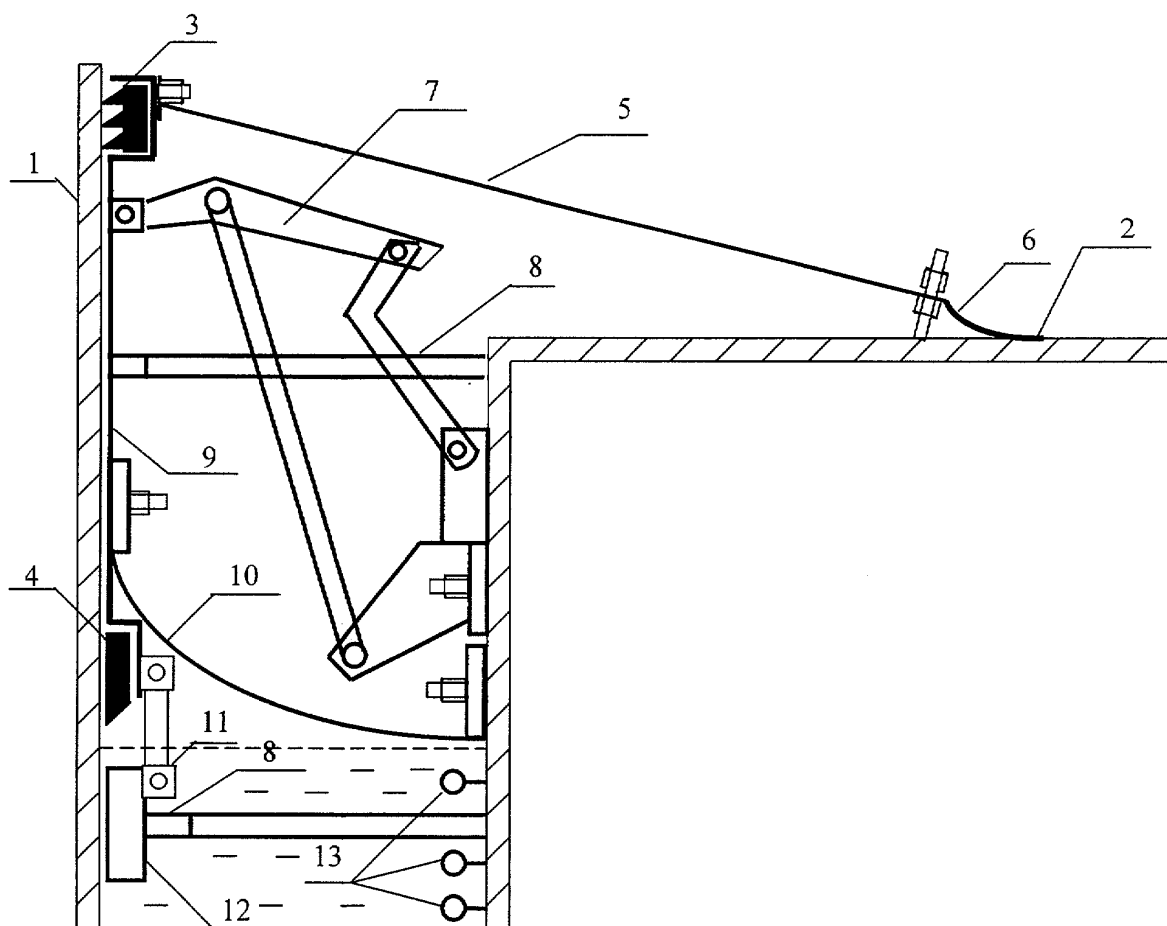


Рисунок 10 - Общий вид уплотняющего затвора плавающих крыш.

Задачей предлагаемого изобретения является обеспечение эффективной очистки стенок резервуара от твердых остатков при отрицательной температуре, обеспечение защиты внутренней полости затвора от загрязнения, повышение его газоплотности.

Указанная задача решается тем, что уплотняющий затвор плавающих крыш резервуаров, включающий резинотканевую шторку, скребковое устройство, пружины сжатия, один конец которых неподвижно прикреплен к плавающей крыше, согласно изобретению содержит скользящий лист, на нижнем и верхнем профильных концах которого, между П-образной и Г-образной профильными деталями, зажато верхнее и нижнее вторичное уплотнение, скребковое устройство поджимается к стенке резервуара пружинами сжатия, которые жестко закреплены на плавающей крыше, и шарнирно соединено со скользящим листом, который через шарнирно-стержневую систему и пружину сжатия соединен с плавающей крышей, кроме того, скользящий лист с помощью болтового соединения соединен с защитным металлическим листом, снабженным резинотканевой шторкой, перекрывающей зазор между верхом плавающей крыши и защитным металлическим листом, на стенке плавающей крыши закреплены кольцевые нагреватели.

Уплотняющий затвор плавающих крыш резервуаров (Рисунок 10) содержит стенку резервуара 1, периферийную часть плавающей крыши резервуара 2, верхнее вторичное уплотнение 3, нижнее вторичное уплотнение 4, защитный металлический лист 5, резинотканевую шторку 6, шарнирно-стержневую систему 7, пружины сжатия 8, скользящий лист 9, фартук 10, шарнирную систему 11 для соединения скользящего листа 9 со скребком 12, кольцевые нагреватели 13.

Уплотняющий затвор плавающих крыш резервуаров работает следующим образом. При вертикальных и горизонтальных подвижках плавающей крыши благодаря шарнирно-стержневой системе 7 и пружине сжатия 8 происходит плотное прижатие скользящего листа 9 с нижним 4 и верхним 3 вторичным уплотнением к стенке резервуара 1, в результате чего обеспечиваются высокая газоплотность затвора и очистка с помощью скребка 12 вертикальных стенок 1 резервуара, с дополнительной подчисткой стенки резервуара нижним вторичным уплотнением 4. При отрицательных температурах твердые остатки размягчают циркуляцией нагретого воздуха через кольцевые нагреватели 13, закрепленные на стенке плавающей крыши 2, кроме того, при вертикальных и горизонтальных подвижках плавающей крыши резиноканевая шторка 6, соединенная при помощи шпильки с защитным металлическим листом 5, перекрывает зазор между плавающей крышей 2 и защитным металлическим листом 5, предотвращая загрязнение внутренней полости затвора.

Предлагаемая конструкция уплотняющего затвора для плавающих крыш резервуаров позволяет повысить газоплотность затвора, уменьшить до минимального загрязнения внутренней полости затвора, уменьшить пожароопасность, более эффективно произвести очистку стенки резервуара от остатков нефти, отложений парафина, загрязнителей, сократить сроки монтажа и повысить ремонтпригодность, в результате чего предлагаемый затвор для плавающих крыш резервуаров найдет широкое применение в резервуаростроении [6].

1.3 Заключение к литературному обзору

В данном литературном обзоре рассмотрены технические характеристики резервуаров с плавающей крышей, видами плавающих крыш, водоспускных

систем, уплотнительных затворов, способах монтажа стенок и днищ резервуара, а так же плавающих крыш. Так же затронули основные проблемы встречающиеся при эксплуатации резервуара. В патентно- информационном обзоре произведен обзор современных решений проблем, а также модификации конструктивных элементов резервуара, их плюсы и недостатки.

Задачами на данную работу - спроектировать резервуар с плавающей крышей объемом 10000 м³, сроком службы 10 лет, для хранения бензина (по ГОСТ Р 51866-2002). Поскольку резервуары с плавающей крышей целесообразно применять в районах с малой снеговой нагрузкой, спроектируем резервуар для южной части России, а в частности для города Абакан и прилегающей к нему территории.

Разработать систему водоспуска состоящую из соединенных между собой гибких шлангов и металлических труб, что позволит отказаться от шарнирного соединения. Тем самым мы увеличим надежность резервуара, сократим расходы и потребность в ремонте, увеличим межремонтный цикл.

Применить меры защиты от коррозии.

Наиболее целесообразно изготавливать стенку полистовым методом. Изготовление днища методом рулонирования, днище будет иметь коническую форму с уклоном от центра.

2. КОНСТРУКТОРСКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ РАЗДЕЛ

2.1 Расчёт геометрических параметров резервуара

Оптимальная высота резервуара:

$$H_{\text{опт}} = \sqrt{\frac{\gamma_c \cdot R_y \cdot \Delta}{\gamma_j \cdot \rho_{\text{max}} \cdot g}}, \quad (2.1)$$

где γ_c – коэффициент условий работы стенки, $\gamma_c = 0,8$;

γ_j – коэффициент надежности по нагрузке гидростатического давления,

$\gamma_j = 1,1$;

g – ускорение свободного падения, $\frac{\text{м}}{\text{с}^2}$;

ρ_{max} – плотность нефтепродукта при минимальной температуре района проектирования РВСПК, кг/м³;

Δ – сумма приведенных толщин днища и покрытия, которая определяется по таблице 1 в зависимости от объема резервуара, $\Delta = 1,5$ см [10].

Таблица 1 - Сумма переведенных толщин днища и покрытия

Δ , м ³	2000	4000	8000	12000	16000	20000
Δ , см	0,9	1,2	1,4	1,6	1,7	1,8

Расчетное сопротивление материала конструкции:

$$R_y = \frac{R_{yn} \cdot \gamma_c \cdot \gamma_t}{\gamma_m \cdot \gamma_n}, \quad (2.2)$$

где R_{yn} – нормативный предел текучести, $R_{yn} = \sigma_T$;

γ_t – коэффициент учета температуры эксплуатации, $\gamma_t = 1$;

γ_n – коэффициент, учитывающий уровень опасности РВСПК, для третьего класса опасности $\gamma_n = 1,05$ [6];

γ_m – коэффициент надежности по материалу, зависит от σ_T , $\sigma_T < 380$ МПа

$\gamma_m = 1,05$.

$$R_y = \frac{345 \cdot 0,8 \cdot 1 \cdot 10^6}{1,05 \cdot 1,05} = 250 \text{ МПа.}$$

Считаем оптимальную высоту резервуара по формуле (2.1):

$$H_{\text{опт}} = \sqrt{\frac{\gamma_c \cdot R_y \cdot \Delta}{\gamma_{\text{ж}} \cdot \rho_{\text{max}} \cdot g}} = \sqrt{\frac{0,8 \cdot 250 \cdot 10^6 \cdot 0,015}{1,1 \cdot 841,17 \cdot 9,8}} = 18,19 \text{ м;}$$

Метод сборки резервуара - полистовой, принимаем листы размером 1500х6000 мм с учетом сварки и минусового допуска листа 1490х5980 мм.

Количество поясов:

$$N_l = \frac{H_{\text{опт}}}{h_{\text{л}}} = \frac{18,19}{1,49} = 12,208 \approx 13, \quad (2.3)$$

где $h_{\text{л}}$ – высота листа, м.

Окончательная высота резервуара:

$$H_{\text{ст}} = N_l \cdot h_{\text{л}} = 13 \cdot 1,49 = 19,37 \text{ м,} \quad (2.4)$$

Радиус резервуара:

$$r = \sqrt{\frac{V}{\pi \cdot H_{\text{ст}}}} = \sqrt{\frac{10000}{3,14 \cdot 19,37}} = 12,82 \text{ м,} \quad (2.5)$$

где V – объем резервуара, м³;

Длина рулона:

$$l_p = 2\pi r + \tau = 2 \cdot 3,14 \cdot 12,82 + 0,2 = 80,74 \text{ м,} \quad (2.6)$$

где τ – запас для сварки и монтажа, $\tau = 0,2$ м;

Уточняем количество листов по периметру резервуара

$$N_l = \frac{l_p}{l_{\text{л}}} = \frac{80,74}{5,98} = 13,50 \approx 14, \quad (2.7)$$

где $l_{\text{л}}$ - длина листа, $l_{\text{л}} = 5,98$ м. ;

Корректируем длину пояса:

$$l_p = N_l \cdot l_{\text{л}} = 14 \cdot 5,98 = 83,72, \quad (2.8)$$

Уточненный радиус резервуара:

$$r = \frac{l_p - 0,2}{2\pi} = \frac{83,72 - 0,2}{2\pi} = 13,29 \text{ м}, \quad (2.9)$$

Определим фактический объем РВСП-10000:

$$V_\phi = \pi \cdot r^2 \cdot H_{cm} = 3,14 \cdot 13,29^2 \cdot 19,37 = 10750 \text{ м}^3, \quad (2.10)$$

2.2 Расчет толщины стенки резервуара

Наименьшая толщина каждого пояса стенки резервуара выбирается из сортаментного ряда таким образом, чтобы разность толщины стенки и минусового допуска на прокат была не меньше максимума из трех величин

$$t - \Delta \geq \max \{ t_c + c; t_g; t_k \},$$

где t_k – минимальная конструктивно необходимая толщина стенки РВСПК (таблица 2), определяется из ГОСТ 31385-2008 «Резервуары вертикальные цилиндрические стальные для нефти и нефтепродуктов» [6].

c – припуск на коррозию, мм;

Δ – минусовой допуск на прокат листовых конструкций, $\Delta = 0,45$ мм.

Припуск на коррозию составляет 2 мм, так как срок службы проектируемого РВСПК 10 лет (0,05 мм в год).

Таблица 2 – Значения толщин стенки резервуара в зависимости от диаметра и исполнения

Диаметр резервуара D, м	Толщина стенки t_k , мм		
	Рулонное исполнение		Полистовое исполнение
	Стационарная крыша	Плавающая крыша	
D < 16	4	4	5

$16 < D < 25$	6	5	7
$25 < D < 35$	8	6	9
$D < 35$	10	8	10

Минимальная конструктивно необходимая толщина стенки РВСПК [7].

$$t_k = 9 \text{ мм};$$

Толщина стенки при условиях эксплуатации:

$$t_c = \frac{g \cdot \rho (H - z) \cdot r + 1,2 \cdot P_{\text{изб}}}{R_{\text{уп}} \cdot \gamma_c}, \quad (2.11)$$

где R_y – расчетное сопротивление материала конструкции, МПа;

$P_{\text{изб}}$ – избыточное давление в резервуаре. Резервуары с понтоном должны эксплуатироваться без внутреннего давления и вакуума;

γ_c – коэффициент условия работы для листовых конструкций (таблица 3) [10].

Таблица 3 – Значения коэффициента работы для листовых конструкций

Элементы конструкции	Значения γ_c
Стенка РВС при расчете на прочность:	
Нижний пояс	0,7
Остальные пояса	0,8
Сопряжение стенки резервуара с днищем	1,2
Стенка РВС при расчете элементов на устойчивость	1

H – высота налива нефтепродукта:

$$H = 0,95 \cdot H_{\text{ст}} = 0,95 \cdot 19,37 = 18,40 \text{ м}, \quad (2.12)$$

Рассчитываем толщину каждого пояса резервуара при условиях эксплуатации по формуле (2.11):

$$t_{c1} = \frac{9,81 \cdot 841,17 \cdot (18,40 - 0) \cdot 13,29}{250 \cdot 10^6 \cdot 0,7} = 11,52 \text{ мм};$$

$$t_{c2} = \frac{9,81 \cdot 841,17 \cdot (18,40 - 1,49) \cdot 13,29}{250 \cdot 10^6 \cdot 0,8} = 9,26 \text{ мм};$$

$$t_{c3} = \frac{9,81 \cdot 841,17 \cdot (18,40 - 2,98) \cdot 13,29}{250 \cdot 10^6 \cdot 0,8} = 8,45 \text{ мм};$$

$$t_{c4} = \frac{9,81 \cdot 841,17 \cdot (18,40 - 4,47) \cdot 13,29}{250 \cdot 10^6 \cdot 0,8} = 7,63 \text{ мм};$$

$$t_{c5} = \frac{9,81 \cdot 841,17 \cdot (18,40 - 5,96) \cdot 13,29}{250 \cdot 10^6 \cdot 0,8} = 6,81 \text{ мм};$$

$$t_{c6} = \frac{9,81 \cdot 841,17 \cdot (18,40 - 7,45) \cdot 13,29}{250 \cdot 10^6 \cdot 0,8} = 5,99 \text{ мм};$$

$$t_{c7} = \frac{9,81 \cdot 841,17 \cdot (18,40 - 8,94) \cdot 13,29}{250 \cdot 10^6 \cdot 0,8} = 5,18 \text{ мм};$$

$$t_{c8} = \frac{9,81 \cdot 841,17 \cdot (18,40 - 10,43) \cdot 13,29}{250 \cdot 10^6 \cdot 0,8} = 4,37 \text{ мм};$$

$$t_{c9} = \frac{9,81 \cdot 841,17 \cdot (18,40 - 11,92) \cdot 13,29}{250 \cdot 10^6 \cdot 0,8} = 3,55 \text{ мм};$$

$$t_{c10} = \frac{9,81 \cdot 841,17 \cdot (18,40 - 13,41) \cdot 13,29}{250 \cdot 10^6 \cdot 0,8} = 2,73 \text{ мм};$$

$$t_{c11} = \frac{9,81 \cdot 841,17 \cdot (18,40 - 14,9) \cdot 13,29}{250 \cdot 10^6 \cdot 0,8} = 1,92 \text{ мм};$$

$$t_{c12} = \frac{9,81 \cdot 841,17 \cdot (18,40 - 16,39) \cdot 13,29}{250 \cdot 10^6 \cdot 0,8} = 1,1 \text{ мм};$$

$$t_{c13} = \frac{9,81 \cdot 841,17 \cdot (18,40 - 17,88) \cdot 13,29}{250 \cdot 10^6 \cdot 0,8} = 0,29 \text{ мм};$$

Рассчитываем толщину поясов резервуара при условиях гидроиспытаний:

$$t_g = \frac{g \cdot \rho_b (H-z) \cdot r}{R_{yp} \cdot \gamma_c}, \quad (2.13)$$

где ρ_b – плотность воды, $\rho_b = 1000 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$;

Рассчитаем толщину для каждого пояса по формуле (2.13):

$$t_{g1} = \frac{9,81 \cdot 1000 \cdot (18,40 - 0) \cdot 13,29}{250 \cdot 10^6 \cdot 0,7} = 13,69 \text{ мм};$$

$$t_{g2} = \frac{9,81 \cdot 1000 \cdot (18,40 - 1,49) \cdot 13,29}{250 \cdot 10^6 \cdot 0,8} = 12,59 \text{ мм};$$

$$t_{g3} = \frac{9,81 \cdot 1000 \cdot (18,40 - 2,98) \cdot 13,29}{250 \cdot 10^6 \cdot 0,8} = 11,48 \text{ мм};$$

$$t_{g4} = \frac{9,81 \cdot 1000 \cdot (18,40 - 4,47) \cdot 13,29}{250 \cdot 10^6 \cdot 0,8} = 10,37 \text{ мм};$$

$$t_{g5} = \frac{9,81 \cdot 1000 \cdot (18,40 - 5,96) \cdot 13,29}{250 \cdot 10^6 \cdot 0,8} = 9,29 \text{ мм};$$

$$t_{g6} = \frac{9,81 \cdot 1000 \cdot (18,40 - 7,45) \cdot 13,29}{250 \cdot 10^6 \cdot 0,8} = 8,15 \text{ мм};$$

$$t_{g7} = \frac{9,81 \cdot 1000 \cdot (18,40 - 8,94) \cdot 13,29}{250 \cdot 10^6 \cdot 0,8} = 7,04 \text{ мм};$$

$$t_{g8} = \frac{9,81 \cdot 1000 \cdot (18,40 - 10,43) \cdot 13,29}{250 \cdot 10^6 \cdot 0,8} = 5,93 \text{ мм};$$

$$t_{g9} = \frac{9,81 \cdot 1000 \cdot (18,40 - 11,92) \cdot 13,29}{250 \cdot 10^6 \cdot 0,8} = 4,82 \text{ мм};$$

$$t_{g10} = \frac{9,81 \cdot 1000 \cdot (18,40 - 13,41) \cdot 13,29}{250 \cdot 10^6 \cdot 0,7} = 3,71 \text{ мм};$$

$$t_{g11} = \frac{9,81 \cdot 1000 \cdot (18,40 - 14,9) \cdot 13,29}{250 \cdot 10^6 \cdot 0,8} = 2,61 \text{ мм};$$

$$t_{g12} = \frac{9,81 \cdot 1000 \cdot (18,40 - 16,39) \cdot 13,29}{250 \cdot 10^6 \cdot 0,8} = 1,5 \text{ мм};$$

$$t_{g13} = \frac{9,81 \cdot 1000 \cdot (18,40 - 17,88) \cdot 13,29}{250 \cdot 10^6 \cdot 0,8} = 0,38 \text{ мм};$$

Наименьшая толщина каждого пояса стенки резервуара выбирается из сортаментного ряда таким образом, чтобы разность толщины стенки и минусового допуска на прокат была не меньше максимума из трех величин:

$$t - \Delta \geq \max \{ t_c + c; t_o; t_k \},$$

Осуществляем проверку для каждого пояса резервуара и выбираем толщину:

$$\begin{aligned} t_1 - 0,45 &\geq \max(11,52 + 1; 13,69; 9) \\ t_1 &= 13,69 + 0,45 = 14,14 \approx 15 \text{ мм}; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} t_2 - 0,45 &\geq \max(9,26 + 1; 12,59; 9) \\ t_2 &= 12,59 + 0,45 = 13,03 \approx 14 \text{ мм}; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} t_3 - 0,45 &\geq \max(8,45 + 1; 11,48; 9) \\ t_3 &= 11,48 + 0,45 = 11,93 \approx 12 \text{ мм}; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} t_4 - 0,45 &\geq \max(7,63 + 1; 10,37; 9) \\ t_4 &= 10,7 + 0,45 = 10,82 \approx 11 \text{ мм}; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} t_5 - 0,45 &\geq \max(6,81 + 1; 9,26; 9) \\ t_5 &= 9,26 + 0,45 = 9,71 \approx 10 \text{ мм}; \end{aligned}$$

Для шестого и последующих поясов толщина стенки будет равна 10 мм.

2.3 Определение снеговой и ветровой нагрузки на резервуар

Расчетное значение снеговой нагрузки определяем по формуле:

$$S = S_q \cdot \mu, \tag{2.14}$$

где S_g – расчетное значение веса снегового покрова на m^2 горизонтальной поверхности земли, выбирается из СНиП 2.01.07-85 «Нагрузки и воздействия» [8];

Абакан расположен в II районе по весу снегового покрова, следовательно $S_g = 1 \text{ кПа}$.

μ – коэффициент перехода от веса снегового покрова земли к снеговой нагрузке на покрытии ($\mu = 0,85$) [8].

$$S = S_g \cdot \mu = 1 \cdot 0,85 = 0,85 \text{ кПа}.$$

Нормативное среднее, составляющее ветровой нагрузки определяется по формуле:

$$W_m = W_0 \cdot K \cdot C, \quad (2.15)$$

где W_0 – нормативное значение ветрового давления в зависимости от ветрового района (для II района), $W_0 = 0,38 \text{ кПа}$;

K – коэффициент, учитывающий изменение ветрового давления по высоте.

Определяется в зависимости от типа местности и высоты сооружения,

$$K = 0,85;$$

C – аэродинамический коэффициент, $C = 0,6$.

Произведем расчет ветровой нагрузки по формуле (2.15)

$$W_m = W_0 \cdot K \cdot C = 380 \cdot 0,85 \cdot 0,6 = 194 \text{ Па}.$$

2.4 Расчет конструктивных элементов резервуара на прочность

Проверочный расчет на прочность для каждого пояса стенки резервуара:

$$\sqrt{\sigma_1^2 - \sigma_1 \cdot \sigma_2 + \sigma_2^2} \leq \frac{R_y \cdot \gamma_c}{\gamma_n}, \quad (2.16)$$

где σ_1 – меридиональное напряжение, МПа;

σ_2 – кольцевое напряжение, МПа;

$$\sigma_1 = \frac{[1,05G_M + 0,95(1,05G_O + 1,2G_Y)]}{2\pi r t_i} + \frac{(0,9 \cdot 1,4 \cdot S - 0,95 \cdot 1,2 \cdot P_{изб})r}{2t_i}, \quad (2.17)$$

где G_M – вес металлоконструкции выше расчетной точки, Н;

G_O – вес стационарного оборудования выше расчетной точки, Н;

t_i – толщина стенки пояса, м;

G_Y – вес утеплителя выше расчетной точки, Н; Вес утеплителя принимаем равным нулю ($G_Y = 0$).

Вес металлоконструкции складывается из массы стенки и крыши. Масса крыши указана в таблице 4 [9].

Таблица 4 – Вес оборудования

Конструкция	Масса конструкции, кг
Крыша	87379
Лестница	1470
Площадки на крыше	1049
Люки и патрубки	4466

$$G_M = G_{M, \text{стенка}} + G_{M, \text{крыша}}, \quad (2.18)$$

где $G_{M, \text{стенка}}$ – вес металлоконструкции стенки выше расчетной точки, Н;

$G_{M,крыша}$ – вес металлоконструкции крыши выше расчетной точки, Н.

$$G_{M,стенка} = \sum_1^{13} G_{M,П_i}, \quad (2.19)$$

где $G_{M,П_i}$ - вес пояса резервуара, Н.

$$G_{M,П_i} = 2 \cdot \pi \cdot r \cdot h_{л} \cdot t_i \cdot \rho_{ст} \cdot g, \quad (2.20)$$

Вес каждого пояса резервуара считаем по формуле (2.20):

$$G_{M,П_1} = 2 \cdot \pi \cdot 13,29 \cdot 1,49 \cdot 15 \cdot 10^{-3} \cdot 7800 \cdot 9,81 = 142800H;$$

$$G_{M,П_2} = 2 \cdot \pi \cdot 13,29 \cdot 1,49 \cdot 14 \cdot 10^{-3} \cdot 7800 \cdot 9,81 = 13590H;$$

$$G_{M,П_3} = 2 \cdot \pi \cdot 13,29 \cdot 1,49 \cdot 12 \cdot 10^{-3} \cdot 7800 \cdot 9,81 = 11650H;$$

$$G_{M,П_4} = 2 \cdot \pi \cdot 13,29 \cdot 1,49 \cdot 11 \cdot 10^{-3} \cdot 7800 \cdot 9,81 = 10680H;$$

$$G_{M,П_5} = 2 \cdot \pi \cdot 13,29 \cdot 1,49 \cdot 10 \cdot 10^{-3} \cdot 7800 \cdot 9,81 = 9707H;$$

Вес последующих поясов будут равны значению пятого пояса, т.е. 9707Н.

Вес стенки находим по формуле (2.19):

$$G_{M,стенка} = G_{M,П_1} + G_{M,П_2} + G_{M,П_3} + G_{M,П_4} + 9 \cdot G_{M,П_5} = 142800 + 13590 + 11650 + 10680 + 9 \cdot 9707 = 266100H.$$

Все металлоконструкции выше расчетной точки находим по формуле (2.18):

$$G_M = (266100 + 87379) \cdot 9,81 = 353500H.$$

Масса стационарного оборудования складывается из массы лестницы, площадок на крыше и люков и патрубков:

$$G_0 = G_{O, \text{лестн-ца}} + G_{O, \text{площ-ки}} + G_{O, \text{люки}}, \quad (21)$$

где $G_{O, \text{лестн-ца}}$ – вес лестницы, Н;

$G_{O, \text{площ-ки}}$ – вес площадки на крыше, Н;

$G_{O, \text{люки}}$ – вес люков и патрубков, Н.

$$G_0 = (1470 + 1049 + 4466) \cdot 9,81 = 68520 \text{ кг.}$$

Определяем меридиональные напряжения для каждого пояса резервуара по формуле (17):

$$\sigma_{1, \text{п1}} = \frac{[1,05 \cdot 353500 + 0,95 \cdot (1,05 \cdot 68520)]}{2\pi \cdot 13,29 \cdot 0,015} + \frac{(0,9 \cdot 1,4 \cdot 850) \cdot 13,29}{2 \cdot 0,015} = 0,82 \text{ МПа};$$

$$\sigma_{1, \text{п2}} = \frac{[1,05 \cdot (353500 - 142800) + 0,95 \cdot (1,05 \cdot 68520)]}{2\pi \cdot 13,29 \cdot 0,014} + \frac{(0,9 \cdot 1,4 \cdot 850) \cdot 13,29}{2 \cdot 0,014} = 0,76 \text{ МПа};$$

$$\sigma_{1, \text{п3}} = \frac{[1,05 \cdot (353500 - 142800 - 13590) + 0,95 \cdot (1,05 \cdot 68520)]}{2\pi \cdot 13,29 \cdot 0,012} + \frac{(0,9 \cdot 1,4 \cdot 850) \cdot 13,29}{2 \cdot 0,012} =$$

$$= 0,87 \text{ МПа};$$

$$\sigma_{1, \text{п4}} = \frac{[1,05 \cdot (353500 - 142800 - 13590 - 10680) + 0,95 \cdot (1,05 \cdot 68520)]}{2\pi \cdot 13,29 \cdot 0,011} + \frac{(0,9 \cdot 1,4 \cdot 850) \cdot 13,29}{2 \cdot 0,011} =$$

$$= 0,93 \text{ МПа};$$

$$\sigma_{1, \text{п5}} = \frac{[1,05 \cdot (353500 - 142800 - 13590 - 10680 - 9707) + 0,95 \cdot (1,05 \cdot 68520)]}{2\pi \cdot 8,53 \cdot 0,01} +$$

$$+ \frac{(0,9 \cdot 1,4 \cdot 850) \cdot 13,29}{2 \cdot 0,01} = 1,001 \text{ МПа};$$

$$\sigma_{1, \text{п6}} = \frac{[1,05 \cdot (353500 - 142800 - 13590 - 10680 - 2 \cdot 9707) + 0,95 \cdot (1,05 \cdot 68520)]}{2\pi \cdot 13,29 \cdot 0,01} +$$

$$+ \frac{(0,9 \cdot 1,4 \cdot 850) \cdot 13,29}{2 \cdot 0,01} = 1,001 \text{ МПа};$$

Таким же способом считаем остальные пояса

$$\sigma_{1,п7} = 1,001 \text{ МПа};$$

$$\sigma_{1,п8} = 0,99 \text{ МПа};$$

$$\sigma_{1,п9} = 0,98 \text{ МПа};$$

$$\sigma_{1,п10} = 0,96 \text{ МПа};$$

$$\sigma_{1,п11} = 0,95 \text{ МПа};$$

$$\sigma_{1,п12} = 0,94 \text{ МПа};$$

$$\sigma_{1,п13} = 0,22 \text{ МПа}.$$

Кольцевое напряжение для нижней точки каждого пояса :

$$\sigma_2 = \frac{(g \cdot \rho_{\text{нн}} \cdot (H - z) + 1,2 \cdot P_{\text{изб}}^H) \cdot r}{t_i}, \quad (22)$$

Считаем кольцевые напряжения для каждого пояса резервуара по формуле (2.22):

$$\sigma_{2,п1} = \frac{(9,8 \cdot 780 \cdot (18,4 - 0)) \cdot 13,29}{0,015} = 134 \text{ МПа};$$

$$\sigma_{2,п2} = \frac{(9,8 \cdot 841,17 \cdot (18,4 - 1,49)) \cdot 13,29}{0,014} = 132 \text{ МПа};$$

$$\sigma_{2,п3} = \frac{(9,8 \cdot 841,17 \cdot (18,4 - 2 \cdot 1,49)) \cdot 13,29}{0,012} = 141 \text{ МПа};$$

$$\sigma_{2,п4} = \frac{(9,8 \cdot 841,17 \cdot (18,4 - 3 \cdot 1,49)) \cdot 13,29}{0,011} = 140 \text{ МПа};$$

$$\sigma_{2,п5} = \frac{(9,8 \cdot 841,17 \cdot (18,4 - 4 \cdot 1,49)) \cdot 13,29}{0,01} = 136 \text{ МПа};$$

$$\sigma_{2,п6} = \frac{(9,8 \cdot 841,17 \cdot (18,4 - 5 \cdot 1,49)) \cdot 13,29}{0,01} = 120 \text{ МПа};$$

Аналогично для остальных поясов:

$$\sigma_{2,п7} = 104 \text{ МПа};$$

$$\sigma_{2,п8} = 87 \text{ МПа};$$

$$\sigma_{2,п9} = 71 \text{ МПа};$$

$$\sigma_{2,п10} = 55 \text{ МПа};$$

$$\sigma_{2,п11} = 38 \text{ МПа};$$

$$\sigma_{2,п12} = 22 \text{ МПа};$$

$$\sigma_{2,п13} = 5,7 \text{ МПа}.$$

Зная кольцевые и меридиональные напряжения, производим проверочные расчеты на прочность для поясов стенки резервуара по формуле (2.16):

$$\sqrt{\sigma_1^2 - \sigma_1 \cdot \sigma_2 + \sigma_2^2} \leq \frac{R_y \cdot \gamma_c}{\gamma_n},$$

$$\sqrt{(0,82)^2 - 0,82 \cdot 134 + (134)^2} \leq \frac{250 \cdot 10^6 \cdot 0,7}{1,05};$$

$$124,4 \text{ МПа} \leq 166,9 \text{ МПа}.$$

Четвертый пояс стенки резервуара наиболее нагружен, в сравнении с остальными, соблюдение условия на прочность данного пояса означает соблюдение условия для всех остальных поясов.

$$\sqrt{(0,93)^2 - 0,93 \cdot 140 + (140)^2} \leq \frac{250 \cdot 10^6 \cdot 0,7}{1,05};$$

$$138,5 \text{ МПа} \leq 166,9 \text{ МПа}.$$

Условие на прочность резервуара выполняется.

2.5 Расчет конструктивных элементов РВСП на устойчивость

Листовые конструкции проектируемого резервуара представляют собой тонкостенную цилиндрическую оболочку вращения, способную терять устойчивость под воздействием сжимающих напряжений.

Проверка несущей способности стенки резервуара включает проверку устойчивости при статическом нагружении. Устойчивость стенки при статическом нагружении проверяется при действии нагрузок от веса конструкции, от веса снегового покрова, от ветровой нагрузки и относительного разрежения в газовом пространстве.

Расчет стенки на устойчивость выполняется в соответствии со СНиП II-23-81 [9] и включает проверку толщин поясов стенки, необходимость установки промежуточных ветровых колец, а также назначение мест установки и сечений колец, если они требуются.

Необходимо произвести проверку соотношения:

$$\frac{\sigma_1}{\sigma_{a1}} + \frac{\sigma_2}{\sigma_{a2}} \leq 1, \quad (2.23)$$

где σ_{a1} – меридиональное критическое напряжение, МПа;

σ_{a2} – кольцевое критическое напряжение, МПа;

σ_1 – равно меридиональному напряжению верхнего пояса стенки;

σ_2 – кольцевое критическое напряжение.

$$\sigma_{a1} = C_i E \frac{t_{\min}}{r}, \quad (2.24)$$

где E – модуль упругости первого рода (модуль Юнга), $E = 2,1 \cdot 10^{11}$ Па ;

t_{\min} – расчетная толщина самого тонкого пояса стенки резервуара (верхнего)

– толщина тринадцатого пояса стенки резервуара, м;

C_i – коэффициент, зависящий от радиуса и толщины стенки РВСПК.

Чтобы посчитать коэффициент C_i необходимо найти отношение $\frac{r}{t_{\min}}$.

Определяем отношение:

$$\frac{r}{t_{\min}} = \frac{13,29}{0,01} = 1329, \quad (2.25)$$

Так как полученное значение попадает в интервал $1220 \leq \frac{r}{t_{\min}} \leq 2500$,

тогда коэффициент C определяем по формуле (2.26):

$$C_i = 0,085 - \frac{r}{10^5 \cdot t_{\min}} = 0,085 - \frac{13,29}{10^5 \cdot 0,01} = 0,072, \quad (2.26)$$

Меридиональное критическое напряжение считаем по формуле (2.24):

$$\sigma_{a1} = 0,072 \cdot 2,1 \cdot 10^{11} \cdot \frac{0,01}{13,29} = 10,79 \text{ МПа};$$

Вычисляем кольцевое критическое напряжение по формуле:

$$\sigma_{a2} = 0,55E \cdot \left(\frac{r}{H_r} \right) \cdot \left(\frac{t_{\min}}{r} \right)^{1,5}, \quad (2.27)$$

где H_r – редуцированная высота, м.

$$H_r = \sum h_i \left(\frac{t_{min}}{t_i} \right)^{2,5}, \quad (2.28)$$

где h_i – высота листа, м;

$$H_r = 1,49 \left(\frac{0,01}{0,015} \right)^{2,5} + 1,49 \left(\frac{0,01}{0,014} \right)^{2,5} + 1,49 \left(\frac{0,01}{0,012} \right)^{2,5} + 1,49 \left(\frac{0,01}{0,011} \right)^{2,5} + 1,49 \left(\frac{0,01}{0,01} \right)^{2,5} = 17,66 \text{ м};$$

Тогда кольцевое критическое напряжение по формуле (2.28):

$$\sigma_{a2} = 0,55 \cdot 2,1 \cdot 10^{11} \cdot \left(\frac{13,29}{17,66} \right) \cdot \left(\frac{0,01}{13,29} \right)^{1,5} = 1,7 \text{ МПа.}$$

Кольцевое критическое напряжение для i -го пояса резервуара:

$$\sigma_{2,i} = (0,95 \cdot 0,5 \cdot k_i \cdot w_m) \cdot \frac{r}{t_i}, \quad (2.29)$$

где k_i – коэффициент, учитывающий изменение ветрового давления по высоте стенки резервуара для каждого пояса $k_i = 0,85$.

Выбираем для расчета 13 пояс резервуара:

$$\sigma_{2,п13} = (0,95 \cdot 0,5 \cdot 0,85 \cdot 204) \cdot \frac{13,29}{0,01} = 0,1 \text{ МПа.}$$

σ_1 равно меридиональному напряжению верхнего пояса стенки резервуара

$$\sigma_1 = \sigma_{1,п13} = 0,22 \text{ МПа}$$

После того, как были посчитаны все необходимые параметры, можно произвести проверку на устойчивость замкнутой круговой цилиндрической оболочки вращения, подверженной одновременному действию сжимающих нагрузок вдоль оси и в радиальном направлении оболочки по формуле (2.23):

$$\frac{0,22}{10,79} + \frac{0,1}{1,7} = 0,081;$$

$$0,081 \leq 1.$$

Условие выполняется. А это значит, что толщины поясов резервуара подобраны правильно, так как выполняется расчет на прочность и на устойчивость стенки резервуара. Установка колец жесткости не требуется.

2.6 Расчет сопряжения стенки резервуара с днищем

Днища резервуаров должны иметь коническую форму для удаления подтоварной воды и удобства зачистки резервуаров с уклоном от центра или к центру. Величина уклона 1:100.

Днища резервуаров объемом свыше 2000 м³ должны иметь центральную часть и утолщенное кольцо окрайки.

Для определения толщины кольцевых окراек, необходимо пользоваться данными таблицы 5.

Таблица 5 – Толщины кольцевых окраек днища

Толщина верхнего пояса стенки резервуара, мм	Минимальная толщина кольцевой окрайки, мм
До 7 вкл.	6
8-11 вкл.	7
12-16 вкл.	9
17-20 вкл.	12
20-26 вкл.	14
Свыше 26	16

Так как толщина стенки верхнего пояса составляет 10 мм, то минимальная толщина кольцевой окрайки должна быть равна 7 мм.

При проектировании конструкции днища должны быть учтены следующие требования, представленные в таблице 6.

Таблица 6— Допустимые значения параметров днища резервуара

Наименование параметров	Допустимые значения, мм
Выступ днища (окраек днища) за внешнюю поверхность стенки: Резервуаров объемом до 1000 м ³ ; резервуаров объемом свыше 1000м ³	25-50 50-100
Величина нахлеста центральной части днища на кольцо окраек	60-100
Величина нахлеста листов (полотнищ) центральной части днища между собой	30-50
Номинальная толщина листов центральной части днища (при наличии кольца окраек или без него), не менее	4
Минимальная толщина остающейся подкладной пластины	4

Размеры окрасочного кольца днища назначаются из условия прочности узла соединения стенки с днищем с учетом деформированности листа окрайки днища.

Номинальная толщина кольцевых окраек должна быть не менее следующей величины:

$$t_{окр} = 0,77 \cdot t_1, \quad (2.30)$$

где t_1 – толщина стенки первого пояса, м;

$$t_{окр} = 0,77 \cdot 0,015 = 0,012 \text{ м};$$

Принимаем $t_{окр} = 12 \text{ мм}$.

Центральная часть днища выполняется в виде отдельных листов или полотнищ. Ее форма по периметру принимается исходя из условия обеспечения величины нахлеста центральной части днища на кольцо окроек. Номинальная толщина листов центральной части днища должны быть не менее 4 мм, исключая припуск на коррозию.

$$t_{ц} = t_{окр} - 2 = 12 - 2 = 10 \text{ мм}, \quad (2.31)$$

Днище укладывается на специальное основание, которое как правило, выполняется в виде песчаных подушек с устройством гидроизолирующего слоя (рисунок 11). Для приготовления этого слоя применяются супесчаный грунт и вяжущее вещество, обычно жидкий битум или каменноугольный деготь в пределах 8... 10% от объема грунта. Для резервуаров объемом $V=10000 \text{ м}^3$, и более, по периметру встраивают в песчаную подушку железобетонное кольцо.

Для обеспечения длительной эксплуатации резервуаров стальные конструкции должны быть защищены от коррозии путем тщательной очистки поверхностей после гидравлического испытания пескоструйной обработкой, огрунтовкой и окрашиванием.

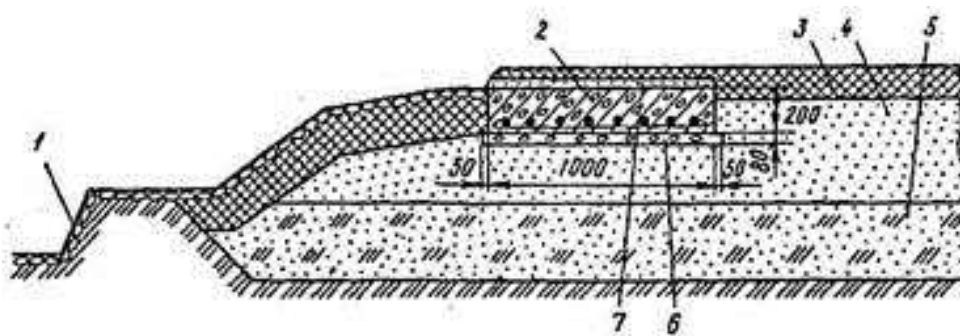


Рисунок 11- Фундамент под резервуар.

1 - кольцевая канавка с отмошкой; 2 - железобетонное кольцо; 3 - гидрофобный слой; 4 - песчаная подушка; 5 - грунтовая подсыпка; 6 - бетонная подготовка; 7 - выравнивающий цементный слой.

Днища резервуаров состоят из двух частей: центральной и периферийной (окраек). Они могут быть плоскими или коническими с уклоном от центра или к центру (1:100). Для нашего проектируемого резервуара необходимо коническое днище с уклоном от центра. Центральная часть днища испытывает незначительные напряжения от давления жидкости. Поэтому ее не рассчитывают и толщину листов принимают по конструктивным соображениям с учетом удобства выполнения сварных соединений и сопротивляемости коррозии.

Для резервуаров объемом от 2 до 10 тыс. м³ применяются днища с обычными окраинами; вместимостью более 10000. м³ – с отдельными сегментными окраинами.

Полный диаметр днища на 100... 120 мм больше наружного диаметра резервуара.

Окрайки днища должны проверяться на прочность от воздействия изгибающего момента краевого эффекта МО.

Безмоментное напряженное состояние тонкостенных оболочек наблюдается в зонах, удаленных от мест сосредоточенного изменения

геометрических и статических параметров оболочки, а также от мест резкого изменения силовых воздействий. На участках, называемых местами краевого эффекта, кроме усилий, напряжений и деформаций, определяемых по безмоментной теории, возникают еще дополнительные краевые усилия (моменты, поперечные силы), напряжения и деформации, называемые краевым эффектом.

В основу определения внутренних усилий в зоне краевого эффекта (в месте сопряжения стенки с днищем) положена основная система метода сил с двумя неизвестными [7].

Предлагается к рассмотрению основная система метода сил тоже с одним неизвестным M_0 без допущений.

Каноническое уравнение метода сил:

$$(\delta_{11}^{cm} + \delta_{11}^{dn}) \cdot M_0 + (\Delta_{1p}^{cm} + \Delta_{1p}^{dn}) = 0, \quad (2.32)$$

где δ_{11} - коэффициенты канонического уравнения;

Δ_{1p} - свободные члены канонического

Коэффициенты канонического уравнения стенки:

$$\delta_{11}^{cm} = \frac{2\beta_{cm}^3}{K_{cm}}, \quad (2.33)$$

где β_{cm} - коэффициент деформации стенки;

K_{cm} - коэффициент постели стенки.

Коэффициенты канонического уравнения днища:

$$\delta_{11}^{dn} = \frac{4\beta_{dn}^3}{K_{dn}}, \quad (2.34)$$

где $\beta_{\partial n}$ - коэффициент деформации днища;

$K_{\partial n}$ - коэффициент постели основания.

Свободные члены канонического уравнения стенки:

$$\Delta_{1p}^{cm} = -\frac{P_u \cdot \beta_{cm} - P'}{K_{cm}}, \quad (2.35)$$

где P_u - давление жидкости;

β_{cm} - коэффициент деформации стенки;

K_{cm} - коэффициент постели стенки;

P' - давление на днище с учетом налива.

Свободные члены канонического уравнения днища:

$$\Delta_{1p}^{\partial n} = -\frac{2 \cdot \beta_{\partial n}}{K_{\partial n}} \cdot (q \cdot \beta_{\partial n} - 2 \cdot P_u), \quad (2.36)$$

где q - нагрузка на единицу длины дуги стенки от собственного веса стенки, покрытия и снега на нем;

P_u - давление жидкости;

$\beta_{\partial n}$ - коэффициент деформации днища;

$K_{\partial n}$ - коэффициент постели основания;

Коэффициент деформации стенки:

$$\beta_{cm} = \sqrt[4]{\frac{3(1-\nu^2)}{r^2 \cdot t_1^2}}, \quad (2.37)$$

где ν - коэффициент Пуассона, $\nu = 0,3$;

t_1 - толщина стенки первого пояса, м;

Условный коэффициент постели стенки:

$$K_{cm} = \frac{E \cdot t_1}{r^2}, \quad (2.38)$$

где t_1 – толщина стенки первого пояса, м;

Коэффициент деформации днища:

$$\beta_{\text{дн}} = \sqrt[4]{\frac{3K_{\text{дн}}(1-\nu^2)}{E \cdot t_{\text{окр}}^3}}, \quad (2.39)$$

Коэффициент постели выбираем по таблице 7:

Таблица 7 – Коэффициент постели

Основание	Коэффициент постели основания, кН/см ³
Песчаное	0,05..0,20
Железобетонный фундамент	0,5..1,5

Основание для проектируемого резервуара – железобетонный фундамент.

Поэтому коэффициент постели основания $K_{\text{дн}} = 0,5$ кН/см³.

Коэффициент деформации стенки по формуле (2.37):

$$\beta_{\text{ст}} = \sqrt[4]{\frac{3 \cdot (1-0,3^2)}{1329^2 \cdot 0,1^2}} = 0,029 \text{ см}^{-1};$$

Условный коэффициент постели стенки по формуле (2.38):

$$K_{\text{ст}} = \frac{2,06 \cdot 10^4 \cdot 0,1}{1329^2} = 0,017 \frac{\text{кН}}{\text{см}^3};$$

Коэффициент деформации днища по формуле (2.39):

$$\beta_{\text{дн}} = \sqrt[4]{\frac{3 \cdot 0,5 \cdot (1 - 0,3^2)}{2,06 \cdot 10^4 \cdot 1,2^2}} = 0,082 \text{ см}^{-1};$$

Давление на днище:

$$P_u = \gamma_{f1} \cdot \rho_{\text{нн}} \cdot g \cdot H - \gamma_{f2} \cdot P_{\text{изб}}^{\text{н}}, \quad (2.40)$$

где $\gamma_{f1} = 1.1$;

$\gamma_{f2} = 1.2$.

Давление на днище по формуле(2.40):

$$P_{\text{и}} = 1,1 \cdot 0,841 \cdot 9,81 \cdot 18,4 = 0,017 \frac{\text{кН}}{\text{см}^2};$$

Давление на днище в зависимости от уровня налива нефтепродукта:

$$P' = \frac{P_u - P_{\text{изб}}^{\text{н}}}{H} = \frac{0,017}{1840} = 9,1 \frac{\text{кН}}{\text{см}^3} \quad (2.41)$$

Далее считаем нагрузку на единицу длины дуги стенки от собственного веса стенки, покрытия и снега на нем:

$$q = q_{\text{ст}} + q_{\text{нк}} + q_{\text{сн}}, \quad (2.42)$$

где $q_{\text{ст}}$ – нагрузка на единицу длины дуги стенки от собственного веса;

$q_{\text{нк}}$ – нагрузка на единицу длины покрытия;

$q_{\text{сн}}$ – нагрузка на единицу длины снега на покрытии.

Нагрузку на единицу длины дуги стенки от собственного веса:

$$q_{\text{ст}} = \frac{g_{\text{ст}} \cdot g \cdot V_{\Phi}}{2 \cdot \pi \cdot r} = \frac{10,06 \cdot 9,81 \cdot 10750 \cdot 10^{-3}}{2 \pi \cdot 1329} = 0,127 \frac{\text{кН}}{\text{см}}, \quad (2.43)$$

где $g_{\text{ст}}$ – масса стенки на единицу объема резервуара, $g_{\text{ст}} = 10,06 \text{ кг/м}^3$;

Нагрузку на единицу длины покрытия:

$$q_{\text{пк}} = \frac{g_{\text{пк}} \cdot g \cdot V_{\phi}}{2 \cdot \pi \cdot r} = \frac{4,98 \cdot 9,81 \cdot 10750 \cdot 10^{-3}}{2 \pi \cdot 1329} = 0,063 \frac{\text{кН}}{\text{см}}, \quad (2.44)$$

где $g_{\text{пк}}$ – масса стенки на единицу объема резервуара, $g_{\text{пк}} = 4,98 \text{ кг/м}^3$.

Нагрузка на единицу длины снега на покрытии:

$$q_{\text{сн}} = \frac{S_g \cdot \mu \cdot r}{2} = \frac{1000 \cdot 0,85 \cdot 132}{2} = 0,056 \text{ кН/см}, \quad (2.45)$$

Суммарная нагрузка по формуле (2.42):

$$q = 0,127 + 0,063 + 0,056 = 0,246 \frac{\text{кН}}{\text{см}};$$

Считаем свободный член канонического уравнения для днища по формуле (2.36):

$$\Delta_{1\text{p}}^{\text{дн}} = -\frac{2 \cdot 0,082}{0,5} \cdot (0,246 \cdot 0,082 - 0,017) = -0,0012;$$

Свободный член канонического уравнения для стенки резервуара по формуле (2.35):

$$\Delta_{1\text{p}}^{\text{ст}} = -\frac{0,017 \cdot 0,029 - 8,4 \cdot 10^{-6}}{0,017} = -0,027;$$

Коэффициент канонического уравнения для стенки резервуара по формуле (2.33):

$$\delta_{11}^{\text{ст}} = \frac{2 \cdot 0,029^3}{0,017} = 0,0027 \frac{1}{\text{кН}};$$

Коэффициент канонического уравнения для днища резервуара по формуле (2.34):

$$\delta_{11}^{\text{дн}} = \frac{4 \cdot 0,082^3}{0,5} = 0,0045 \frac{1}{\text{кН}};$$

Полученные нами значения подставляем в каноническое уравнение метода сил и находим момент изгибающий МО по формуле (2.32):

$$(0,0027 + 0,0045) \cdot M_0 + (-0,027 - 0,0012) = 0;$$

$$M_0 = \frac{0,027 + 0,0012}{0,0027 + 0,0045} = 3,91 \text{ кН}$$

Проверяем окрайку на прочность:

$$\sigma_{окр} = \frac{4 \cdot M_0}{t_{окр}^2} \leq \gamma_c \cdot \gamma_{кр} \cdot R_y, \quad (2.46)$$

где M_0 – изгибающий момент, действующий на стенку РВСПК;

$\gamma_{кр}$ – коэффициент условия работы стеки резервуара в зоне краевого эффекта, $\gamma_{кр} = 1,2$.

Проверяем условие:

$$\sigma_{окр} = \frac{4 \cdot 3912}{0,012^2} \leq 1,2 \cdot 1,2 \cdot 250 \cdot 10^8.$$

$$108,7 \text{ МПа} \leq 360 \text{ МПа}$$

Условие выполняется, значит, что прочность окراек обеспечена и подобрана правильная толщина окрайки.

2.7 Расчет резервуара на опрокидывание и определение контурного давления на фундамент

Проектирование основания и фундаментов под резервуар выполняется специализированной проектной организацией с учетом положений

действующей нормативно-технической документации. С целью определения исходных данных для проектирования основания и фундамента следует разрабатывать задание, включающее расчетные реактивные усилия (нагрузки), передаваемые от корпуса резервуара на его фундамент.

Необходимо определить контурное давление на фундамент в соответствии с заданием и произвести расчет резервуара на опрокидывание.

Проект основания и фундамента должен быть выполнен с учетом обеспечения следующих условий:

- максимальная абсолютная осадка основания не должна превышать 200 мм;

- относительная осадка основания под днищем, равная отношению разности;

- осадок двух смежных точек к расстоянию между ними, не должна превышать 0,005;

- разность осадок под центральной частью днища и под стенкой не должна превышать $0,003r$ (r – радиус резервуара) и не должна быть более 100 мм;

- крен резервуаров не должен превышать 0,002 (для резервуаров с понтоном или плавающей крышей) и 0,004 – для резервуаров без понтона или плавающей крыши.

Конструкция резервуара должна быть проверена на возможность опрокидывания резервуара – отрыва стенки резервуара и прилегающих к ней участков днища от основания резервуара при действии ветровой и сейсмической нагрузки.

Проверка на опрокидывание пустого резервуара от действия ветровой нагрузки предусматривает, что ветровая нагрузка вызывает появление опрокидывающего момента, вычисляемого относительно точки, расположенной

на оси симметрии опорного контура стенки с подветренной стороны резервуара. Необходимо произвести расчеты:

-проверку на опрокидывание пустого резервуара путем сравнения опрокидывающего момента и момента от удерживающих сил;

-расчет анкеров, если устойчивость пустого резервуара от опрокидывания не обеспечена.

Опрокидывающий момент, действующий на резервуар в результате ветрового воздействия M_w определяется:

$$M_w = \gamma_n \cdot (M_{ws} + M_{wr}) \cdot \frac{w_m}{w_0}, \quad (2.47)$$

где M_{ws} —опрокидывающий момент от действия ветра на стенку резервуара,

кН · м;

M_{wr} —опрокидывающий момент от действия ветра на крышу, кН · м;

w_0 необходимо принять равным 0,38 кПа.

Опрокидывающий момент от действия ветра на стенку резервуара:

$$M_{ws} = F \cdot b, \quad (2.48)$$

где F – сдвигающая сила от действия ветра на стенку;

b —координата приложения равнодействующей силы.

Сдвигающая сила от действия ветра на стенку:

$$F = 0,575 \cdot D_p \cdot w_m \left[1 - 0,705 \cdot \left(\frac{H}{10} \right)^3 + 4,642 \cdot \left(\frac{H}{10} \right)^2 + 4,815 \cdot \left(\frac{H}{10} \right) \right] = 0,575 \cdot 26,58 \cdot \\ \cdot 0,194 \cdot 10^3 \cdot \left[1 - 0,705 \cdot \left(\frac{19,37}{10} \right)^3 + 4,642 \cdot \left(\frac{19,37}{10} \right)^2 + 4,815 \cdot \left(\frac{19,37}{10} \right) \right] = 67010H \quad (2.49)$$

Координата приложения равнодействующей силы (зависит от высоты резервуара)

$$b_0 = 2,5 + 0,57(H_{cm} - 5) = 2,5 + 0,57 \cdot (19,37 - 5) = 10,69 \text{ м}; \quad (2.50)$$

Опрокидывающий момент от действия ветра на стенку резервуара по формуле (2.48):

$$M_{\omega S} = 67010 \cdot 10,69 = 716,4 \text{ кН} \cdot \text{м};$$

Опрокидывающий момент от действия ветра на крышу резервуара:

$$M_{wr} = 0, \quad (2.51)$$

Так как у нас плавающая крыша.

Опрокидывающий момент, действующий на резервуар в результате ветрового воздействия M_w по формуле (2.47):

$$M_{\omega} = 1,05 \cdot (716400 + 0) \cdot \frac{0,194}{0,38} = 383,6 \text{ кН} \cdot \text{м};$$

Проектирование фундамента резервуара осуществляется с использованием двух вариантов нагрузок:

Первый вариант – осесимметричные нагрузки, создающие равномерное распределение усилий по периметру фундамента, включают:

- вес резервуара с учетом оборудования и теплоизоляции, за вычетом центральной части днища;

- гидростатическое давление на уровне днища, действующее в пределах фундаментного кольца;

- снеговую нагрузку;

- избыточное давление и разрежение в газовом пространстве резервуара.

Второй вариант – кососимметричные нагрузки, создающие неравномерное распределение усилий по периметру фундамента:

-ветровая и сейсмическая нагрузки, вызывающие появление опрокидывающего момента, вычисляемого относительно точки, расположенной на оси симметрии опорного контура стенки с подветренной стороны резервуара.

Для проектирования фундамента резервуара необходимо выполнить расчеты:

-определение нагрузок на центральную часть днища в условиях эксплуатации и гидравлических испытаний;

-расчет максимальных и минимальных нагрузок на фундаментное кольцо в условиях эксплуатации;

-проверку на опрокидывания пустого резервуара путем сравнения опрокидывающего момента и момента от удерживающих сил;

-расчет анкеров, если устойчивость пустого резервуара от опрокидывания не обеспечена.

Расчетная погонная нагрузка на фундаментное кольцо характеризуется максимальным и минимальным значениями, соответствующими диаметрально противоположным участкам фундамента (рисунок 12). Максимальная и минимальная нагрузки определяются соответственно, как сумма и разность максимальных осесимметричных и кососимметричных нагрузок (с учетом знаков).

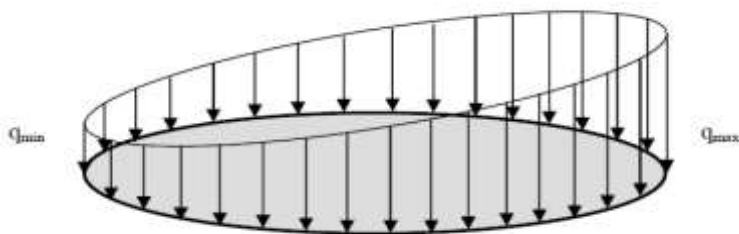


Рисунок 12 - Нагрузки на фундаментное кольцо резервуара.

Максимальная расчетная нагрузка на фундаментное кольцо:

$$q_{\max} = \frac{Q_{\max}}{2\pi r} + \frac{M_w}{\pi r^2}, \quad (2.52)$$

где Q_{\max} – расчетная максимальная осесимметричная нагрузка на фундамент резервуара;

Минимальная расчетная нагрузка на фундаментное кольцо:

$$q_{\min} = \frac{Q_{\min}}{2\pi r} + \frac{M_w}{\pi r^2}, \quad (2.53)$$

где Q_{\min} – расчетная минимальная осесимметричная нагрузка на фундамент резервуара.

Ширину фундаментного кольца за вычетом выступающего за стенку участка принять равным двум радиусам.

Расчетная максимальная осесимметричные нагрузка на фундамент резервуара:

$$Q_{\max} = 1,05(G_s + G_r) + 0,95[1,05(G_{so} + G_{ro})] + (0,9 \cdot f_{sk} \cdot S_g + 0,95 \cdot 1,2 \cdot P_{\text{вак}}^H) \cdot \pi r^2, \quad (2.54)$$

где G_s – вес стенки, кН;

G_r – вес крыши, кН;

G_{so} – вес оборудования на стенке резервуара, кН;

G_{ro} – вес оборудования на крыше, кН;

f_{sk} – коэффициент, учитывающий форму крыши;

$P_{\text{вак}}^H$ – давление в вакууме, $P_{\text{вак}}^H = 0$, так как РВСПК.

Просуммируем вес крыши и стенки и выразим все в кН:

$$G_{s+r} = 353,5 \text{ кН},$$

где G_s – вес стенки, кН;

G_r – вес крыши, кН.

Тогда:

$$G_{so+ro} = 65,52 \text{ кН},$$

Коэффициент, учитывающий форму крыши, принимаем равным 1.

Тогда расчетная максимальная осесимметричные нагрузка на фундамент резервуара примет вид:

$$Q_{\max} = 1,05 \cdot G_{s+r} + 0,95 \cdot 1,05 \cdot G_{so+ro} + (0,9 \cdot f_{sk} \cdot S_g + 0,95 \cdot 1,2 \cdot P_{\text{вак}}^H) \cdot \pi r^2, \quad (2.55)$$

где f_{sk} – коэффициент, учитывающий форму крыши;

G_{s+r} – вес стенки и вес крыши, кН;

G_{so+ro} – вес оборудования стенки и вес крыши, кН.

Расчетная максимальная осесимметричная нагрузка на фундамент резервуара по формуле (2.55):

$$Q_{\max} = 1,05 \cdot 353,5 + 0,95 \cdot 1,05 \cdot 65,52 + (0,9 \cdot 1 \cdot 1 + 0,95 \cdot 1,2 \cdot 0) \cdot \pi \cdot 13,29^2 = 936,121 \text{ кН};$$

Расчетная минимальная осесимметричные нагрузка на фундамент резервуара:

$$Q_{\min} = G_{s+r} + 0,95 \cdot G_{so+ro} - 0,95 \cdot 1,2 \cdot P_{\text{вак}}^H \cdot \pi r^2 = 353,5 + 0,95 \cdot 65,52 - 0,95 \cdot 1,2 \cdot 0 \cdot 3,14 \cdot 13,29^2 = 353,5 \text{ кН}, \quad (2.56)$$

Расчетная нагрузка на фундаментное кольцо по формуле (2.52):

$$q_{max} = \frac{939,121}{2 \cdot \pi \cdot 13,29} + \frac{383,6}{\pi \cdot 13,29^2} = 11,9 \text{ кН/м};$$

Минимальная расчетная нагрузка на фундаментное кольцо по формуле (2.53):

$$q_{min} = \frac{353,5}{2 \cdot \pi \cdot 13,29} + \frac{383,6}{\pi \cdot 13,29^2} = 4,92 \text{ кН/м};$$

Нагрузка на центральную часть днища:

$$P_f = (\rho_{нп} \cdot H + \rho_{ст} \cdot t_g) \cdot 0,001 \cdot g + 1,2 \cdot P_{бак} = (841,17 \cdot 18,4 + 7800 \cdot 0,01) \cdot 0,001 \cdot 9,81 + 1,2 \cdot 0 = 228,36 \text{ кН/м}^2, \quad (2.57)$$

где t_g – толщина центральной части днища.

Резервуар считается устойчивым к опрокидыванию, если момент от вертикальных удерживающих сил, действующих на пустой резервуар, превышает момент сил, вызванных ветровым воздействием.

Если резервуар является неустойчивым к опрокидыванию, стенка резервуара прикрепляется к фундаменту анкерными устройствами, шаг установки и размеры определяются расчетом.

Установка анкеров требуется, если выполняется неравенство, в котором правая часть представляет момент от удерживающих сил:

$$M_w \geq (Q_{min} - F_{wvr}) \cdot r, \quad (2.58)$$

где F_{wvr} – подъемная сила от действия ветра на крышу;

Подъемная сила от действия ветра на крышу:

$$F_{wvr} = 0,72 \cdot \pi \cdot r^2 \cdot \frac{w_m}{w_0} = 0,72 \cdot \pi \cdot 13,29^2 \cdot \frac{0,194}{0,38} = 15,33 \text{ кН}, \quad (2.59)$$

Проверка условия:

$$383,636 \text{ Н} \cdot \text{м} \geq (353,5 - 15,33) \cdot 13,29;$$

$$383,636 \text{ Н} \cdot \text{м} \leq 4495 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Условие не выполняется, поэтому установка анкеров не требуется.
Резервуар устойчив к опрокидыванию.

2.8 Расчет плавающей крыши

Расчетным размером является высота расположения ватерлинии от днища коробов. Ватерлиния – линия на внешней обшивке коробов плавающей крыши, показывающая предельную глубину погружения их в жидкость.

$$h_{\text{в}} = \frac{G_{\text{кр}} + G_{\text{об}} + G_{\text{прг}} + G_{\text{кон}} + G_{\text{сн}} + q_{\text{давл}} \cdot A_{\text{кнт}} \cdot f}{\pi \cdot r_n^2 \cdot \rho_{\text{min}}}, \quad (2.60)$$

где $G_{\text{кр}}$ – вес крыши;

$G_{\text{об}}$ – собственный вес оборудования, $G_{\text{об}} = 100 \dots 200 \text{ кН}$;

$G_{\text{прг}}$ – вес пригруза;

$G_{\text{кон}}$ – нагрузка от конденсата;

$G_{\text{сн}}$ – снеговая нагрузка;

$q_{\text{давл}}$ – давление прижима затвора на стенку резервуара (5 кПа);

$A_{\text{кнт}}$ – площадь поверхности контакта затвора со стенкой;

f – коэффициент трения (0,15);

r_n^2 – радиус крыши;

$\rho_{\text{min}} \approx 7 \text{ кН/м}^3$.

Вес крыши:

$$G_{кр} = g_{эл} \cdot V \cdot g \cdot 0,001 = 5,1 \cdot 10000 \cdot 9,81 \cdot 0,001 = 500,31 \text{ кН} , \quad (2.61)$$

где $g_{эл}$ – масса элемента на единицу объема резервуара, $g_{эл} = 5,1 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$;

Вес пригруза:

$$G_{приг} = 0,07 \cdot V = 0,07 \cdot 10000 = 700 \text{ кН} , \quad (2.62)$$

Нагрузка от конденсата:

$$G_{кон} = 1,2 \cdot 0,3 \cdot \pi \cdot r_n^2 = 1,2 \cdot 0,3 \cdot 3,14 \cdot 13,09^2 = 193,69 \text{ кН} , \quad (2.63)$$

где r_n – радиус крыши (на 200 мм меньше радиуса резервуара);

Снеговая нагрузка:

$$G_{сн} = S_g \cdot \mu \cdot \pi \cdot r_n^2 = 1 \cdot 0,85 \cdot 3,14 \cdot 13,28^2 = 457,32 \text{ кН} , \quad (2.64)$$

Площадь поверхности контакта затвора со стенкой:

$$A_{кнт} = 2 \cdot \pi \cdot r \cdot b_{пр} = 2 \cdot 3,14 \cdot 13,29 \cdot 0,3 = 25,04 \text{ м}^2 , \quad (2.65)$$

где $b_{пр} = 0,3 \text{ м}$.

Положение ватерлинии по формуле (60):

$$h_b = \frac{500,35 + 120 + 700 + 193,69 + 5 \cdot 25,04 \cdot 0,15}{3,14 \cdot 13,09^2 \cdot 7} = 0,41 \text{ м};$$

Высота коробов:

$$h_k = 2 \cdot h_b = 2 \cdot 0,41 = 0,82 \text{ м} , \quad (2.66)$$

где h_b – положение ватерлинии.

В резервуарах с плавающей крышей верхний пояс стенки усиливается кольцом жесткости, сечение которого подбирается из условия действия в нем максимального изгибающего момента, определяемого по формуле:

$$M = 0,0186 \cdot \gamma_f \cdot W_T \cdot r^2 \cdot H_{\text{ст}} = 0,0186 \cdot \gamma_f \cdot W_T \cdot r^2 \cdot H = 0,0186 \cdot 1,4 \cdot 194 \cdot 13,29^2 \cdot 19,37 = 17,28 \text{ кН} \cdot \text{м} , \quad (2.67)$$

2.9 Водоспускная система

Водоспускная система состоит из четырех плеч гибкого рукава с поворотной вставкой между двумя плечами, в каждое гибкое плечо посередине вставлено жесткое звено, концы которого заканчиваются соответственно верхним, нижним и промежуточными кронштейнами, причем верхний кронштейн своим верхним концом подвешен при помощи гибкой тяги к плавающей крыше, нижний кронштейн своим нижним концом при помощи шарнира прикреплен к опоре на дне резервуара, а два промежуточных кронштейна верхнего и нижнего плеч между собой соединены поворотным шарниром.

В данной системе применены стальные трубы диаметром 120 мм, а также гибкий шланг диаметром 120 мм.

Длина каждого гибкого шланга 3 (Рисунок 13) принимается равной 3м, длина труб 8 принимается равной 2,5 м. Труба 6 имеет длину равную 2 м и угол загиба 175°.

Имея вышеперечисленные геометрические параметры данная водосливная система работает во всем диапазоне рабочего хода плавающей крыши, который равен 16,6 м. При минимальном положении плавающей крыши водослив опирается на металлические подставки предотвращающие трубы и шланги от прогиба под собственным весом и обеспечивающие угол достаточный для стока воды. Резинотканевые шланги и металлические трубы

соединены при помощи фланцев. Также неподвижная труба имеет фланцевое соединение для удобства монтажа.

Два промежуточных кронштейна 5 соединены между собой шарнирно при помощи оси и шплинта.

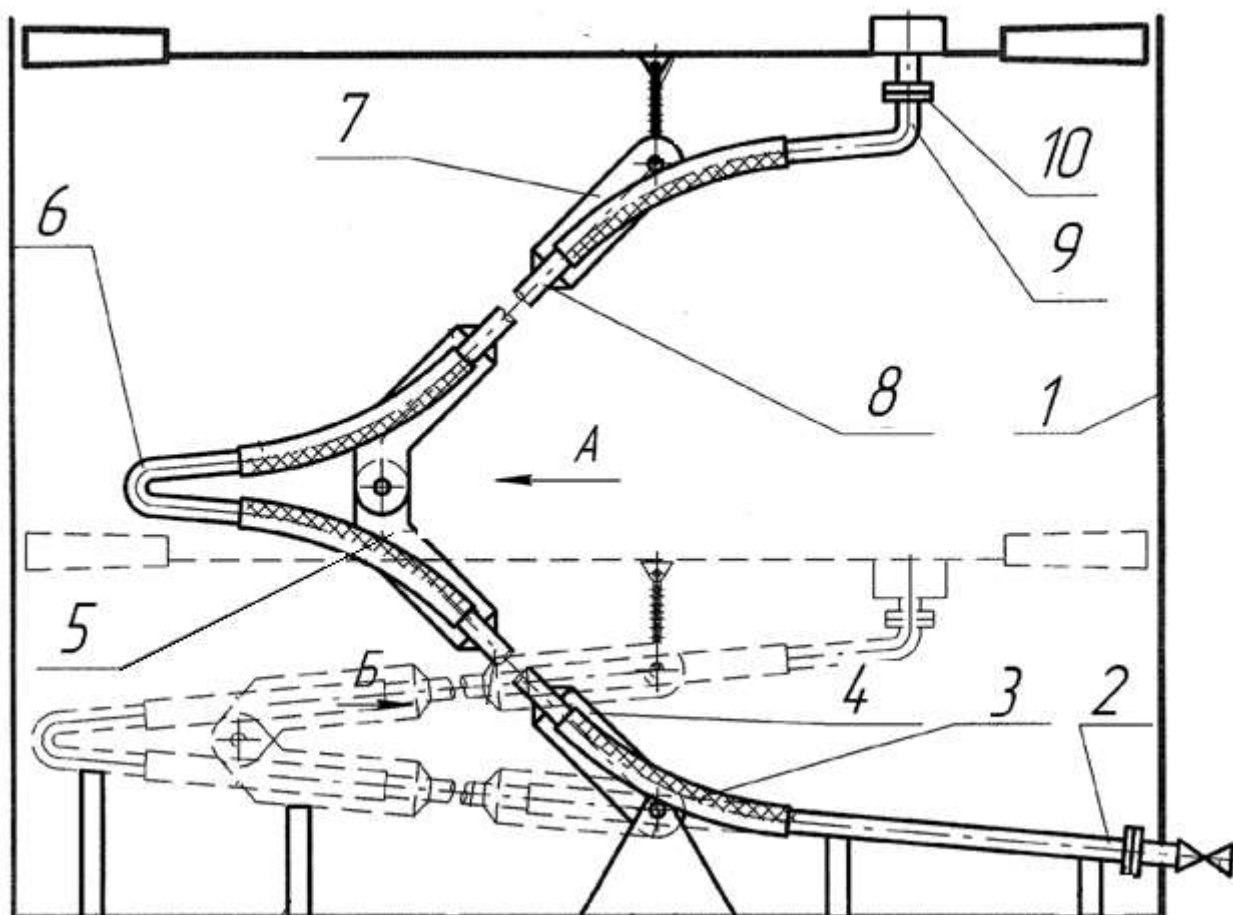


Рисунок 13 - Система водоспуска.

2.10 Эксплуатационное оборудование

На РВСПК в зависимости от назначения рекомендуется устанавливать следующее оборудование, отвечающее требованиям стандартов и предназначенное обеспечить надежную эксплуатацию резервуаров:

1) Кран сифонный - предназначенный для удаления придонной воды и механических примесей, осевших на дно резервуара в результате отстоя хранимого нефтепродукта [12].

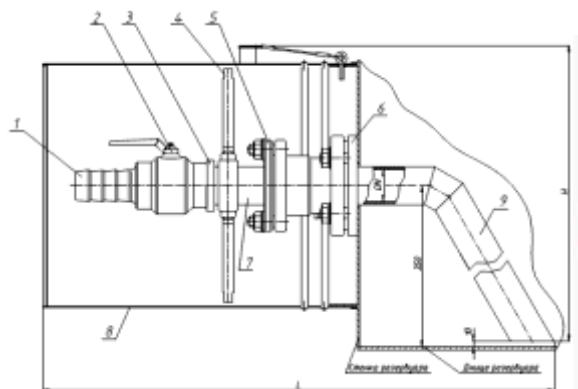


Рисунок 14 – Кран сифонный шаровый КС-80

1 – переходник; 2 – кран шаровый; 3,6 фланец; 4 – ручка; 5 – грунт-букса; 7 – труба горизонтальная; 8 – кожух; 9 – отвод.

2) Устройства размыва донных отложений Тайфун 20 - предназначены для размыва донных отложений в резервуарах с легковоспламеняющимися жидкостями (бензин, дизтопливо, нефть, нефтепродукты и т.п.), а также для предотвращения образования этих отложений. Для перемешивания жидкостей с вязкостью до 68 сСт. Устройство монтируется на штатной крышке технологического люка резервуара путем монтажа на него присоединительных элементов, входящих в комплект устройства и поставляемых вместе с ним [11].

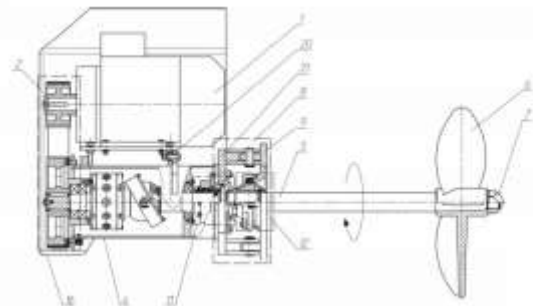


Рисунок 15 – Устройства размыва донных отложений Тайфун - 20

1 - взрывозащищенного асинхронного электродвигателя; 2 - плоскозубчатой ременной передачи; 3 - автоматического привода поворота; 4, 5 - корпуса с подшипниковыми опорами; вала; 6 - гребного винта; 70 - обтекателя; 8 - шарнирного узла; 9 - фланца присоединительного; 10 - плиты установочной с устройством натяжения зубчатого ремня; торцевого 11 и сферического 12 уплотнений.

3) Световой люк ЛС-600 - Световой люк служит для проветривания резервуара перед ремонтом и при дефектоскопии, а также при зачистке, подъема крышки-хлопушки с помощью аварийного троса при обрыве основного, проверки состояния и положения плавающего топливозаборного устройства. На резервуарах вместимостью более 2000 м³ устанавливают два таких люка [12].

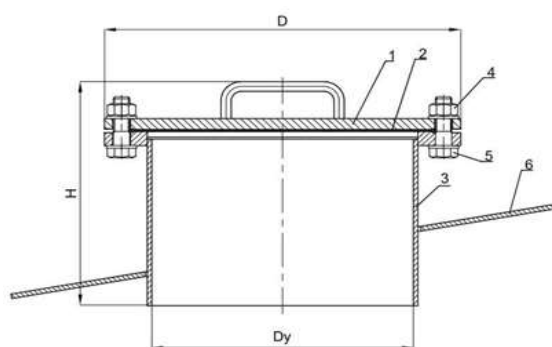


Рисунок 16 – Световой люк ЛС-700

1 – крышка; 2 – прокладка; 3 – корпус; 4 – гайка; 5 – болт;
6 – усиливающая накладка

4) Люк-лаз ЛЛ-800 - предназначен для осмотра резервуара в его нижней части, а также для доступа обслуживающего персонала внутрь резервуара при зачистке и ремонте. С помощью люка-лаза в вертикальный резервуар доставляется необходимое оборудование, и извлекаются донные отложения при ручной очистке [12].

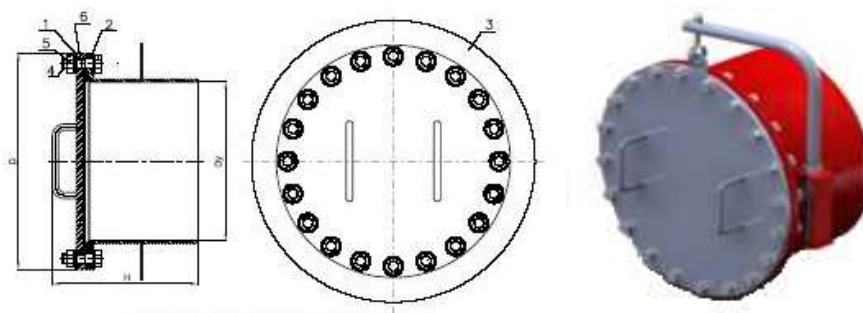


Рисунок 17 –Люк-лаз ЛЛ-800

1 – фланец; 2 – корпус; 3 – усиливающая накладка; 4 – болт; 5 – гайка; 6 – прокладка

5) Патрубки приемно-раздаточные ППР - служат для присоединения к ним трубопровода закачки нефтепродукта резервуара, а также хлопушки или плавающего топливозаборника [12].

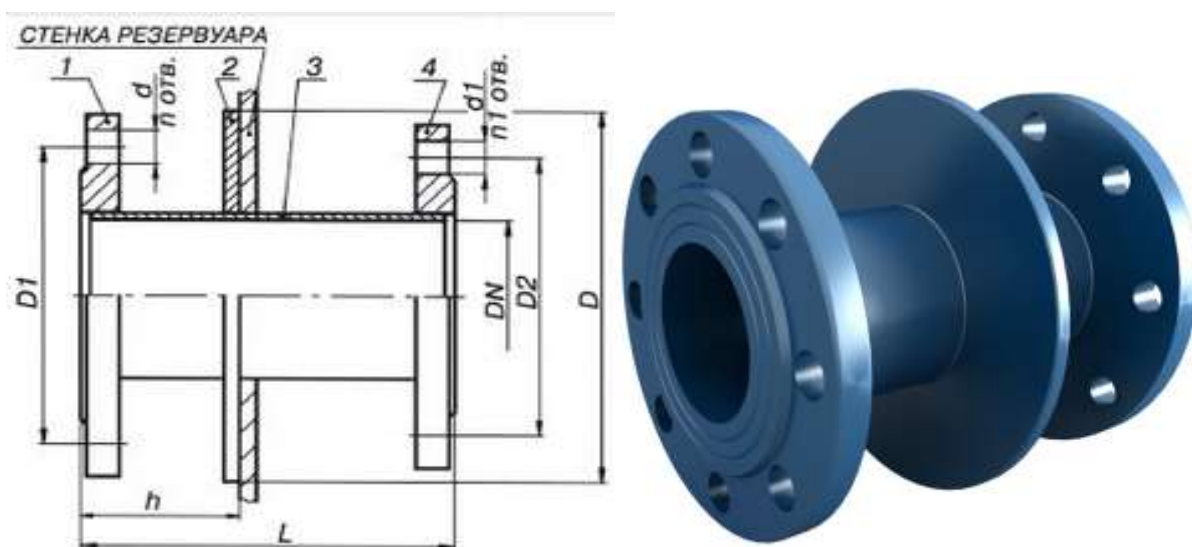


Рисунок 18– Приемно-раздаточный патрубок ППР

1 – фланец наружный; 2 – усиливающая накладка; 3 – труба; 4 – фланец внутренний

6) Патрубки зачистные - Резервуар должен комплектоваться конструкциями для зачистки, служащими для выполнения следующих операций:

- удаление осадка, образовавшегося в период эксплуатации резервуара;
- удаление остатков продукта;
- удаление подтоварной воды.

Патрубок зачистки, конструктивно представляет из себя патрубок в стенке резервуара, к которому изнутри присоединен отвод 90° с кольцом. Патрубки зачистки изготавливаются условным проходом 100, 150, 200 и 250 мм.

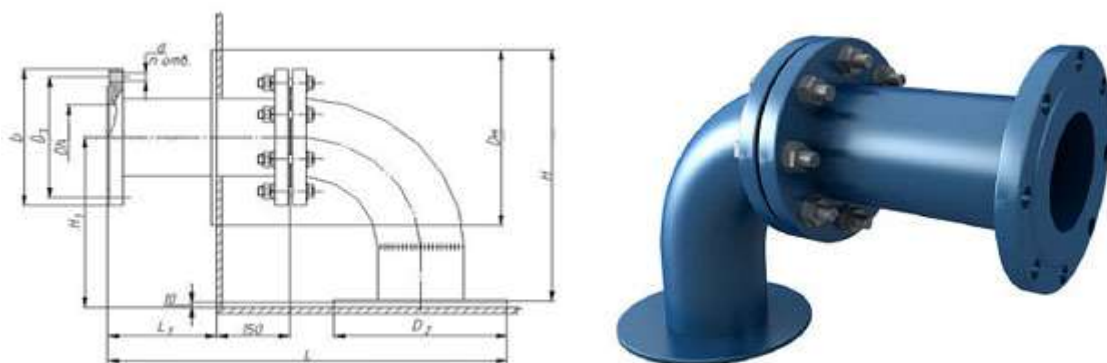


Рисунок 19 – Патрубок зачистной

7) **Хлопушка ХП-250** - устанавливается внутри резервуара на приемораздаточном патрубке и служит для налива и слива нефтепродукта, для дополнительной защиты от возможной утечки нефтепродукта из резервуара, при неисправном состоянии трубопровода.

Хлопушка состоит из корпуса с наклонным срезом и плотно прилегающей к нему крышкой, соединенной с корпусом рычажным механизмом. При наполнении вертикального резервуара струя нефтепродукта силой давления приподнимает крышку хлопушки. При остановке перекачки крышка хлопушки под действием собственного веса опускается на свое место, закрывая трубу. При выдаче нефтепродукта из вертикального резервуара крышка хлопушки открывается принудительно при помощи вращающегося барабана с наматывающимся на него тросом [11].

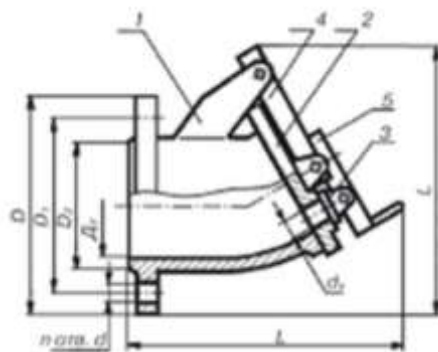


Рисунок 20 – Хлопушка-250

1 – корпус; 2 – крышка; 3 – пробка; 4 – большой рычаг; 5 – малый рычаг

8) Механизм управления хлопушкой МУВ-250 - Механизм управления хлопушкой боковой МУ-1 является комплектующим изделием резервуаров, предназначен для открытия и закрытия клапанов хлопушек (основного и перепускного) и фиксации их в открытом положении.

Механизм управления монтируется на боковой стенке резервуара над хлопушкой [12].

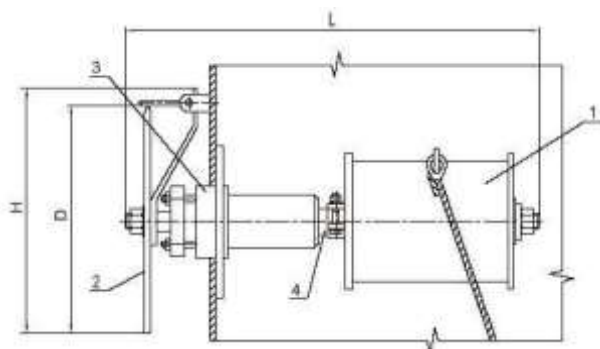


Рисунок 21 – Механизма управления хлопушкой МУ-250

1 – барабан; 2- штурвал; 3 – корпус управления; 4 – вал.

9) Пробоотборник секционный ПСРП-17 – предназначены для отбора проб нефтепродуктов по всей высоте наземных резервуаров нормального и повышенного давления с понтоном и плавающей крышей.

Пробоотборник является комплектующим изделием вертикальных цилиндрических резервуаров и устанавливается внутри них. Приемный узел приваривается к стенке с наружной стороны в нижней части вертикального резервуара [11].

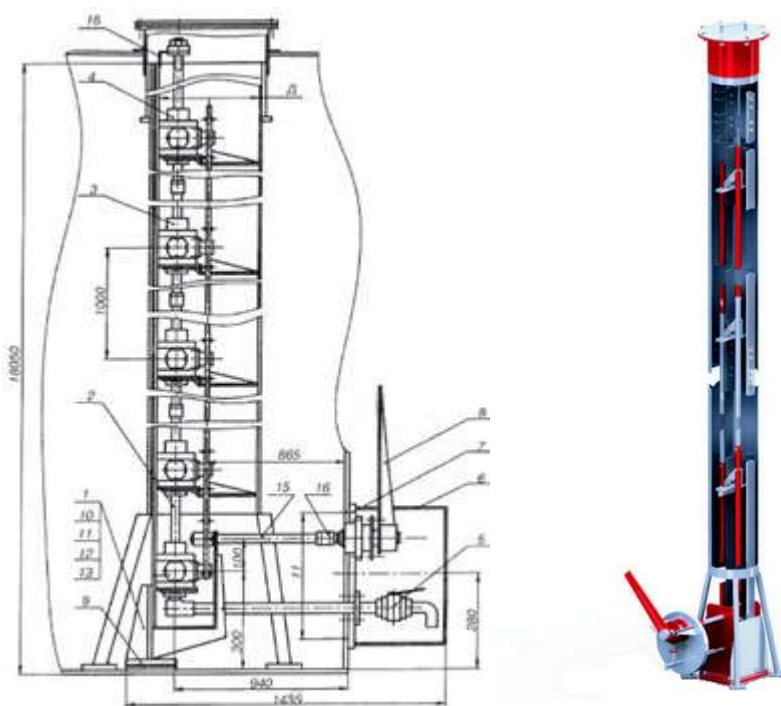


Рисунок 22 – Пробоотборника секционного ПСРП-17

10) Патрубки вентиляционные ПВР - П - обеспечивают пожаробезопасность вертикальных цилиндрических, резервуаров с понтонами и плавающими крышами, предотвращая образование пожароопасной, газовой смеси в надпонтонном пространстве и обеспечивая его вентиляцию естественным образом. Плавающие крыши должны быть оборудованы не менее чем двумя вентиляционными клапанами, открывающимися при нахождении

крыши на опорных стойках, и предохраняющими крышу и затвор от перегрузок и повреждения при заполнении или опорожнении резервуара. Размеры и число клапанов определяются производительностью приемораздаточных операций и габаритами резервуара [12].

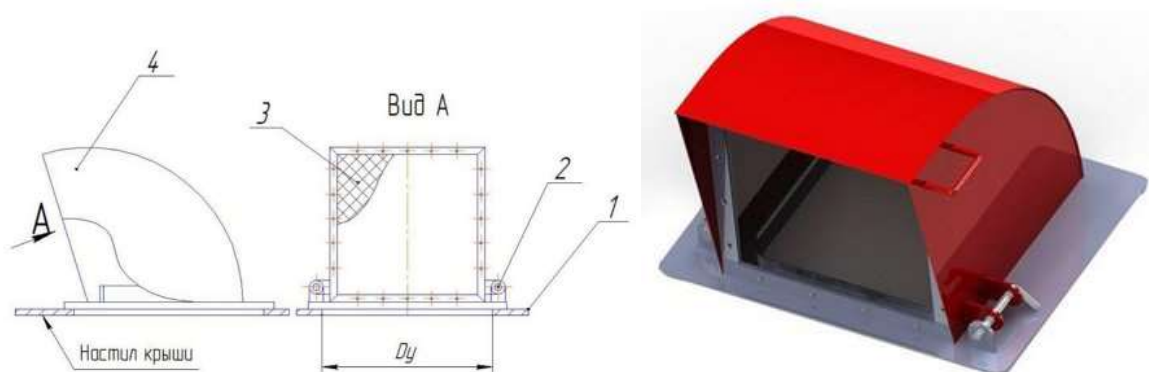


Рисунок 23 – Вентиляционный патрубок ПВР-П

1 — Фланец; 2 — кронштейны; 3 — сетка из нержавеющей стали; 4 — погодный колпак.

11) Пожарное оборудование. Генератор пены ГПСС-2000 – служит для тушения пожаров на резервуарах с плавающей крышей.

Использование данного оборудования является обязательным в соответствии с ПБ 03-605-03 для тушения возгораний надслойным методом. Тушение пламени происходит плоской пленкообразующей струей пены которая направлена на внутреннюю стенку резервуара, которая стекает по стенке и попадает в зазор. Пена поступает в резервуар через пенокамеры, находящиеся в верхнем поясе. Также пеногенераторы должны быть установлены таким образом, чтобы исключалось воздействие на них пламени и продуктов горения [11].

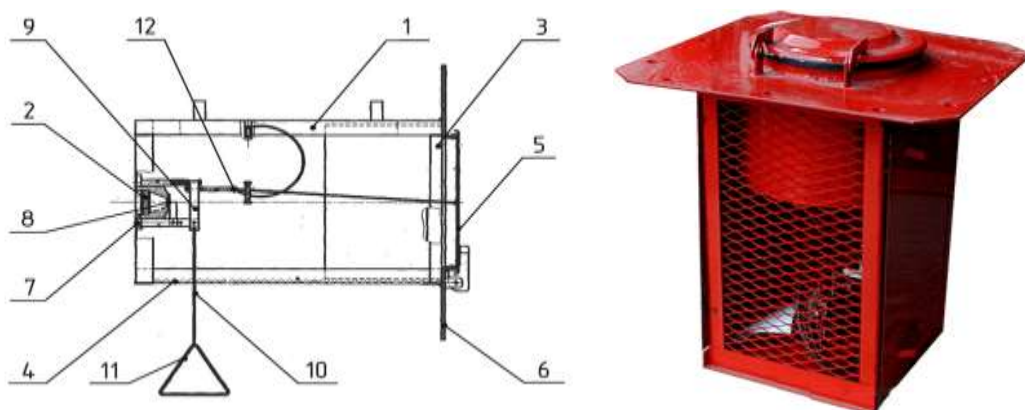


Рисунок 24 – ГПСС

1 — корпус; 2 — распределитель; 3 — кассета; 4 — сетка; 5 — крышки; 6,7 — фланцы; 8 — заслонка; 9 — вилка ; 10 — канат; 11 — ручка; 12 — тяга.

2.11 Вспомогательное оборудование

Лестницы используют для осмотра оборудования, приборов, их ремонта, отбора проб, замера уровня. Лестницы могут быть вертикальные, наклонные, спиральные (по стенке резервуара) и шахтные. Они должны иметь наклон марша к горизонту $<60^\circ$, ширину 0,7 м, шаг ступеней $<0,25$ м, высоту перил >1 м. Лестницу устанавливают на земле на специальную бетонированную площадку, а сверху крепят к площадке, расположенной на крыше резервуара. Площадку по обеим сторонам лестницы обносят перилами высотой 1 м и длиной не менее 1,5 м.

В процессе эксплуатации осматривают места сопряжения лестниц с резервуаром, проверяют состояние ступеней и перил. При появлении обледенения его удаляют металлическими щетками, не дающими искры [11].

2.12 Устройство молниезащиты

Защита от прямых ударов молнии должна производиться отдельно стоящими или установленными на самом резервуаре молниеприемниками (молниеотводами). В зону защиты молниеприемников должно входить пространство над каждой единицей дыхательной аппаратуры, ограниченное полушарием радиусом 5м [10].

Молниеприемники, устанавливаемые на резервуаре, изготавливают из круглых стержней или труб с площадью поперечного сечения не менее 100 мм². Для защиты от коррозии молниеприемники оцинковывают или красят.

В проекте «Оборудование резервуара» (раздел «Молниезащита»), должны быть разработаны мероприятия по защите резервуара от электростатической и электромагнитной индукции в зависимости от электрических характеристик продукта, производительности и условий налива продукта, свойств материала и защитных покрытий внутренних поверхностей резервуара.

Для обеспечения электростатической безопасности нефтепродукты должны заливаться в резервуар без разбрызгивания, распыления или бурного перемешивания (за исключением случаев, когда технологией предусмотрено перемешивание и обеспечены специальные меры электростатической безопасности)

2.13 Итоги раздела

В данном разделе спроектирован резервуар для хранения бензина, основные его характеристики приведены в таблице 8.

Таблица 8 – Основные характеристики

Величина	Значение
Высота резервуара - Н	19,37м
Количество поясов - N	13

Радиус резервуара – r	13,29м
Фактический объем резервуара - V_{ϕ}	10750м ³
Снеговая нагрузка - S	0,85кПа
Ветровая нагрузка - W_m	194Па
Высота плавающей крыши - h_k	0,82м

3. ЭКСПЛУАТАЦИЯ И РЕМОНТ

3.1 Техническое обслуживание, текущий и капитальный ремонт

В ходе эксплуатации резервуара возможны выявление дефектов материалов, неправильного монтажа, засорение или протекание водоспускной системы, трещины в стенах и тд.

Для предотвращения вышеперечисленных ситуаций следует вовремя проводить техническое обслуживание, текущий и капитальный ремонт согласно техническому регламенту.

Виды ремонтов резервуаров с плавающей крышей:

-Техническое обслуживание: подразумевающее ежедневный визуальный осмотр резервуара на наличие трещин, протекания нефтепродуктов. Следует проводить проверку плавающей крыши на горизонтальность ее положения, на наличие на ее поверхности нефтепродуктов, а также контролировать снеговой покров в зимний период. Так же раз в две недели следует проверять водоспускную систему на наличие в ней нефтепродуктов, сетку ливнеприёмника на наличие засорений и обледенений в зимний период. Так же следует проводить проверку исправности шахтной и катушей лестниц предотвращать их от загромождений посторонними предметами, очищать от снега и обледенений в зимний период. Два раза в год следует проводить

контроль уплотняющего затвора, проверять контакт трущихся поверхностей торцевых уплотнителей.

-Текущий ремонт: производится при неисправностях выявленных в результате проверки резервуара при техническом обслуживании, либо раз в два года. При текущем ремонте производится полное опорожнение резервуара от хранимого нефтепродукта. Текущий ремонт подразумевает очистку стенок и днища от оседающих на них остатков нефтепродуктов, очистку от коррозии в местах ее проявления, восстановление лакокрасочного покрытия. Так же при текущем ремонте проверяется толщина стенок, днища, состояние сварных швов. Производится проверка на наличие дефектов в обшивке резервуара, в случае обнаружения производится замена листов. Проверяется состояние эксплуатационного и вспомогательного оборудования и его замена в случаях несоответствия его техническим характеристикам. После текущего ремонта производятся испытания резервуара на герметичность.

-Капитальный ремонт: подразумевает под собой восстановление состояние резервуара близкое к его первоначальному состоянию, он производится раз в десять лет, включает в себя все действия текущего ремонта. Так же производится полный ремонт резервуара, ремонт фундамента, замена листов обшивки и днища не соответствующих заданным техническим характеристикам. Производится ремонт уплотняющего затвора, водоспускной системы, а также замена вышедшего из строя эксплуатационного оборудования. После капитального ремонта производится испытания на герметичность.

3.2 Защита от коррозии

Коррозия стальных металлических резервуаров резко сокращает эксплуатационную надежность резервуаров и оборудования, снижает срок их службы, вызывает разрушение отдельных элементов конструкций и может приводить к потерям хранимого нефтепродукта и авариям.

К основным методам защиты внутренних поверхностей стальных резервуаров с нефтью и нефтепродуктов от коррозии относят нанесение лакокрасочных и металлизационных покрытий, применение электрохимической катодной защиты, а также использование ингибиторов коррозии.

Выбор того или иного метода защиты определяется скоростью коррозии, условиями эксплуатации, видом нефтепродукта и технико-экономическими показателями.

При выборе лакокрасочного покрытия необходимо, чтобы оно не влияло на качество нефтепродукта, обладало стойкостью к воздействию воды и атмосферного воздуха в условиях эксплуатации резервуара. Лакокрасочное покрытие должно обладать адгезией грунтовок к металлу резервуара и совместимостью грунтовок и эмалей. Это покрытие должно удовлетворять требованиям электростатической искробезопасности.

Выполнение работ по защите металлоконструкций от коррозии должно соответствовать требованиям, приведенных в Указаниях по защите резервуаров от коррозии настоящих правил [10].

3.3 Испытание и приемка резервуара

Все резервуары должны быть подвергнуты гидравлическому испытанию. Резервуары с плавающей крышей, должны тщательно проверяться на герметичность. Испытание резервуара проводят после окончания всех работ по

монтажу и контролю, перед присоединением к резервуару патрубков (за исключением временных трубопроводов для подачи и слива воды для испытания) и после завершения работ по обвалованию.

До начала испытания должна быть представлена вся техническая документация, предусмотренная разделами по изготовлению, монтажу и контролю качества резервуаров. Испытание должно проводиться в соответствии с технологической картой испытаний, которая должна быть составной частью ППР. Гидравлические испытания следует проводить наливом воды на проектный уровень залива продукта или до уровня контрольного отверстия, которое предусмотрено для ограничения высоты наполнения резервуара. Налив воды следует осуществлять ступенями по поясам с промежутками времени, необходимыми для выдержки и проведения контрольных осмотров.

На время испытания должны быть установлены и обозначены предупредительными знаками границы опасной зоны, с радиусом от центра резервуара, равным не менее двух диаметров резервуара. В этой зоне не допускается нахождение людей, не связанных с испытаниями. Все контрольно-измерительные приборы, задвижки и вентили временных трубопроводов для проведения временных испытаний должны находиться за пределами обвалования или иного аналогичного защитного сооружения на расстоянии не менее двух диаметров резервуара.

Лица, производящие испытание должны находиться вне границ опасной зоны. Допуск к осмотру резервуара разрешается не ранее чем через 10 минут после достижения установленных испытательных нагрузок.

Испытание следует производить при температуре окружающего воздуха не ниже 5°C. При испытаниях резервуаров при температуре ниже 5°C должна быть разработана программа испытания, предусматривающая мероприятия по

предотвращению замерзания воды в трубах, задвижках, а также обмерзание стенки резервуара.

В течение всего периода гидравлического испытания все люки и патрубки в крыше резервуара должны быть открыты.

По мере заполнения резервуара водой необходимо наблюдать за состоянием конструкции и сварных швов.

При обнаружении течи из-под края днища или появления мокрых пятен на поверхности отмошков, необходимо прекратить испытание, слить воду, установить и устранить причину течи. Если в процессе испытания будут обнаружены свищи, течи или трещины в стенке резервуара (независимо от величины дефекта), испытание должно быть прекращено и вода слита до уровня в случаях:

- при обнаружении дефекта в 1 поясе – полностью;
- при обнаружении дефекта во 2-6 поясах – на один пояс ниже расположение дефекта;
- при обнаружении дефекта в 7 поясе и выше – до 5 пояса.

Резервуар, залитый водой до верхней проектной отметки, выдерживается под нагрузкой не менее 24 часов. Резервуар считается выдержавший гидравлические испытания, если в течение указанного времени на поверхности стенки или по краям днища не появляются течи и если уровень воды не снижается. После окончания гидравлических испытаний при залитом до проектной отметки водой резервуаре, производят замеры отклонений образующих от вертикали, замеры отклонений наружного контура днища для определения осадки основания.

На резервуар, прошедший испытания, составляется акт завершения монтажа (сборки) конструкции.

После завершения монтажа не допускается приварка к резервуару каких-либо деталей и конструкций. На резервуаре производятся предусмотренные проектом работы по противокоррозионной защите, устройству теплоизоляции и установке оборудования с оформлением соответствующих документов. После окончания этих работ на резервуар составляется паспорт, резервуар вводится в эксплуатацию [10]

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В данной работе спроектирован резервуар с плавающей крышей, для хранения бензина. Обладавший такими проблемами, как перекос плавающей крыши, недостаточное уплотнение в уплотняющем затворе, течь в системе водоспуска.

В литературном обзоре приведены основные типы конструкций резервуаров, способы монтажа, способы усовершенствования конструкции для решения вышеперечисленных проблем.

В конструкторско-технологическом разделе рассчитаны основные параметры резервуара, произведены прочностные расчеты, определена снеговая и ветровая нагрузка, рассчитан усовершенствованный вариант системы водоспуска. Произведен подбор эксплуатационного и вспомогательного оборудования.

В разделе эксплуатации и ремонта указаны мероприятия по техническому обслуживанию, текущему и капитальному ремонту. Указан порядок испытания и приемки резервуара.

Благодаря усовершенствованию системы водоспуска и уплотняющего затвора увеличена надежность и долговечность резервуара.

Список литературы:

1. Резервуары для приёма, хранения и отпуска нефтепродуктов: учеб. Пособие / Ю. Н. Безбородов, В. Г. Шрам, Е.Г. Кравцова, С.И. Иванова, А.Л. Фельдман. – Красноярск: Сиб. федер. ун-т, 2015 г. – 110с.
2. Патент РФ 2264338. Яхин М.Ю. Плавающая крыша резервуара. Заявка от 08.08.2003г. Опубликовано 20.11.2005г.

3. Патент РФ 2339562. Коротеев Е.И. Крыша нефтеналивного резервуара плавающая. Заявка от 22.01.2007г. Опубликовано 27.11.2008г.
4. Патент РФ 2109669. Шаммазов А.М. Водослив плавающих резервуаров. Заявка от 22.04.1996г. Опубликовано 27.04.1998г.
5. Патент РФ 2301187. Белозеров А.Г. Резервуар с плавающей крышей. Заявка от 03.03.2005г. Опубликовано 10.08.2006г.
6. Патент РФ 2307777. Мустафин Ф.М. Уплотняющий затвор плавающих крыш резервуаров. Заявка от 26.12.2005г. Опубликовано 10.10.2007г.
7. ГОСТ 31385-2008 Резервуары вертикальные центрические стальные для нефти и нефтепродуктов. Технические условия. – Введ. 01.01.2008. – Москва : Стандартинформ, 2008. – 19 с.
8. СНиП 2.01.07-85 Нагрузки и воздействия; Введ. 17.07.1994. – Москва: Стандартинформ, 1994. – 30 с.
9. СНиП II-23-81 Строительные конструкции; Введ. 21.06.2011. – Москва: Стандартинформ, 2011. – 21 с.
10. Проектирование и расчет стальных цилиндрических резервуаров и газгольдеров низкого давления. Г.А. Нехаев.- издательство АСВ. 2005г.- 216 с.
11. Промприбор [Электронный ресурс] : база данных содержит сведения о приборах для резервуарах. – Режим доступа: <http://td-prompribor.ru/benz.htm>
12. Торговый дом резервуарного оборудования [Электронный ресурс] : база данных содержит сведения о оборудовании для резервуарах. – Режим доступа: <http://www.азнефтебаза/oborudovanie-avtotsistern/otvod-parov/ustroistvo-dyhateljnoe.html>

